



UNIVERSIDADE DE ÉVORA
ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

Mestrado em Engenharia Geológica

Dissertação

**Cartografia e caracterização de matérias-primas argilosas da região de
Torres Vedras – Bombarral, para aplicação em cerâmica de construção**

Rui Pedro Jerónimo Pires Sardinha

Orientador:

Ruben Sílvio Varela dos Santos Martins

Co-Orientadores:

José Vítor Magalhães Barros Vieira Lisboa

Joaquim Luís Galego Lopes

Évora, Julho de 2013

Mestrado em Engenharia Geológica

Dissertação

**Cartografia e caracterização de matérias-primas argilosas da região de
Torres Vedras – Bombarral, para aplicação em cerâmica de construção**

Rui Pedro Jerónimo Pires Sardinha

Orientador:

Ruben Sílvio Varela dos Santos Martins

Co-Orientadores:

José Vítor Magalhães Barros Vieira Lisboa

Joaquim Luís Galego Lopes

Évora, Julho de 2013

Cartografia e caracterização de matérias-primas argilosas da região de Torres Vedras – Bombarral, para aplicação em cerâmica de construção

Resumo

Foram desenvolvidos trabalhos de prospeção de argilas comuns em terrenos atribuídos ao Jurássico superior e Cretácico inferior. Através da cartografia geológica temática foi possível a definição das principais zonas de ocorrência de argilas comuns. Os afloramentos argilosos cartografados estão alinhados NE-SW ao longo de cerca de 15 km, principalmente no topo do Jurássico superior.

As matérias-primas caracterizadas são maioritariamente silto-argilosas, sendo predominantemente caulinítico-ilítico-quártzicas e exibem grande semelhança composicional entre si. As propriedades tecnológicas indicam também uma relativa homogeneidade das argilas. As condições ambientais que estiveram na génese dos depósitos não terão portanto divergido significativamente. As argilas possuem aptidão para o fabrico de tijolo e telha, no entanto, requerem lotação, armazenamento e maturação.

Comprova-se que a região estudada constitui uma das principais áreas no país em argilas comuns para cerâmica de construção, possuindo recursos avultados (240 Mt) de características homogêneas em matérias-primas essenciais para a indústria cerâmica.

Palavras-chave: argilas comuns; cartografia; cerâmica de construção; recursos minerais

Mapping and characterization of clay raw materials from Torres Vedras - Bombarral region for application in construction ceramic

Abstract

Exploration work for common clays has been carried out in geological formations from Upper Jurassic to Lower Cretaceous. Through geological mapping of selected areas it was possible to define the major occurrences of common clay deposits. The mapped clay outcrops are aligned in NE-SW trend, along 15 km, and are mainly situated on the top of Upper Jurassic age deposits.

Characterized raw materials are mostly within the silt-clayed domain, being predominately kaolinitic-ilitic-quartzic and exhibit great compositional similarity; technological properties also indicate relative homogeneity, showing the same genetic environmental formation conditions. Sampled materials are suitable to manufacture bricks and tiles, however they requires a previous treatment (blending, stocking and maturation).

These raw materials show homogeneous characteristics, essential to regional ceramic industry, and regarding the Portuguese resources of common clays with application in construction ceramic, it was demonstrated that the studied region constitutes one of the major areas, having huge resources (240Mt).

Key-words: common clays; mapping; construction ceramic; mineral resources

Agradecimentos

À Professora Isabel Duarte, pelo apoio sempre disponibilizado relativamente às partes burocráticas do mestrado em Engenharia Geológica.

Agradeço aos colegas de trabalho, Jorge Carvalho por me ter aliviado de certas tarefas que me permitiram tempo para a parte escrita desta dissertação, e especialmente à Cátia Prazeres, pelo seu companheirismo, contínuo incentivo e por ter assumido paralelamente às suas, as minhas tarefas.

Agradeço também especialmente ao colega e orientador José Vítor Lisboa, pelos vastos conhecimentos transferidos ao longo dos últimos 4 anos de trabalho na instituição que me acolhe, e por me ter permitido trabalhar neste projeto, apoiando-me no rumo a seguir ao longo dos trabalhos desenvolvidos.

Agradeço também aos orientadores Professor Ruben Martins e Professor Luís Lopes, pelo apoio incondicional e disponibilidade demonstrada quer ao longo dos anos quer nos momentos finais de escrita da dissertação.

À Unidade de Ciência e Tecnologia Mineral do LNEG, pela realização de todos os ensaios referentes à caracterização das matérias-primas.

Ao LNEG, por me permitir a oportunidade de colaboração e formação contínua.

Finalmente, um agradecimento especial aos meus pais, cujo suporte, incentivo, e amizade tornaram possível tanto a parte curricular do mestrado como esta dissertação.

ÍNDICE

Resumo	
Abstract	
Agradecimentos	
	Página
Índice	i
Índice de figuras	iii
Índice de quadros	vi
 Capítulo I – Introdução	 1
1.1. Objetivos e enquadramento do tema	1
1.2. Argilas comuns em Portugal	2
1.3. Caracterização da indústria cerâmica da região	3
 Capítulo II - Enquadramento da área de estudo	 5
2.1. Enquadramento geográfico e geomorfológico	5
2.2. Enquadramento geológico	9
2.2.1. Bacia Lusitaniana – Evolução, litostratigrafia e sectores	9
2.2.2. Formações aflorantes	11
 Capítulo III – Metodologias	 16
3.1. Preparação dos trabalhos	16
3.2. Metodologias de campo	17
3.2.1. Cartografia de afloramentos	17
3.2.2. Colheita de amostras	18
3.3. Metodologias laboratoriais	20
3.3.1. Caracterização granulométrica	20
3.3.2. Caracterização mineralógica	21
3.3.3. Caracterização química	21
3.3.4. Medição do pH	22
3.3.5. Análise térmica diferencial e ponderal	23
3.3.6. Ensaaios de caracterização tecnológica	24
3.3.6.1. Plasticidade	24
3.3.6.2. Tratamentos térmicos	25
3.3.6.3. Retração verde-seco, seco-cozido e total	26
3.3.6.4. Resistência mecânica à flexão	27
3.3.6.5. Capacidade de absorção de água	28
 Capítulo IV – Caracterização e cartografia das áreas potenciais em argilas comuns	 29
4.1. Descrição das sequências sedimentares	29
4.1.1. Zona de Outeiro da Cabeça	30
4.1.1.1. Sector central	30
4.1.1.2. Sector ocidental	36

4.1.1.3. Sector oriental	39
4.1.2. Zona de A-dos-Cunhados	41
4.1.2.1. Sector sudoeste	42
4.1.2.2. Sector central	42
4.1.2.3. Sector oriental	45
4.1.2.4. Outros locais	45
4.1.3. Zona de Adão Lobo	48
4.1.4. Zona de Casalinho	49
4.2. Cotas de ocorrência de argilas e estimativa de recursos	51
Capítulo V - Caracterização das matérias-primas argilosas	53
5.1. Textura e composição	53
5.1.1. Caracterização granulométrica	53
5.1.2. Caracterização mineralógica	56
5.1.3. Interpretação das curvas de análise térmica diferencial e gravimétrica	59
5.1.4. Caracterização química	61
5.1.4.1. pH	62
5.2. Propriedades e comportamento cerâmico	63
5.2.1. Propriedades relacionadas com distribuição dimensional do grão, limites de consistência e plasticidade	63
5.2.2. Resistência mecânica à flexão e retração linear após secagem	66
5.2.3. Resistência mecânica à flexão, retração linear e absorção de água após cozedura	68
Capítulo VI – Conclusões	72
6.1. Conclusões	72
6.2. Proposta para trabalhos futuros	73
Bibliografia	75
Anexos	
Anexo 1. Diagramas de ATD/ATG	79
Anexo 2. Quadro de correlações	86
Anexo 3. Mapa litológico de afloramentos argilosos	

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ocorrências de argilas comuns em Portugal, segundo a Base de Dados de Recursos Minerais Não Metálicos do LNEG.	2
Figura 2. Localização geográfica da área de estudo	5
Figura 3. Localização geográfica regional da área de estudo.	6
Figura 4. Representação altimétrica da área de estudo.	8
Figura 5. Limites da Bacia Lusitaniana, os seus sectores e localização da área de estudo (adaptado de Kullberg <i>et al.</i> , 2006).	9
Figura 6. Mapa geológico de enquadramento regional da zona em estudo. Adaptado da Carta Geológica de Portugal à escala de 1:1.000.000 (LNEG, 2010).	10
Figura 7. Unidades litostratigráficas da Bacia Lusitaniana no Jurássico Superior – Cretácico Inferior, com a representação esquemática da área de trabalho. Adaptado de Kullberg <i>et al.</i> , (2006).	11
Figura 8. Mapa litoestratigráfico da área de trabalho.	15
Figura 9. Representação esquemática dos limites de Atterberg e dos estados de comportamento, em função do teor de água dos materiais (Adaptado de: Faria, 2005 <i>in</i> Martins, 2007).	25
Figura 10. Área de trabalho com representação das 4 zonas de maior potencial em recursos argilosos, as unidades industriais cerâmicas e a atividade extrativa.	29
Figura 11. Representação de uma das frentes de exploração do barreiro da Lusoceram.	31
Figura 12: Coluna litológica tipo (I) para o barreiro explorado pela Lusoceram (M:108237; P:247173).	32
Figura 13. Paleocanal numa das paredes do barreiro da Lusoceram. Orientação da frente de exploração: N20°E.	33
Figura 14. Detalhes da base da sucessão observada para a zona da barreiro da Lusoceram. A – Pormenor dos elementos conglomeráticos e dos níveis descontínuos de matéria orgânica. B – Pormenor das intercalações areníticas e silto-argilosas.	33
Figura 15. Exploração Outeiro do Barro com exposição do nível produtivo inferior, e do arenito intermédio a teto.	34
Figura 16: Coluna litológica tipo (II) para a sequência sedimentar observada no barreiro Outeiro do Barro (M:107713; P:246577).	35
Figura 17. Alguns detalhes do barreiro Outeiro do Barro, propriedade da Cerâmica Avelar. A – Pormenor das variações granulométricas e cromáticas no arenito intermédio; B – Pormenor das pontuações betuminosas na base do mesmo arenito.	35
Figura 18. Perfil geológico A-B (NW-SE) efetuado para o sector central da zona de Outeiro da Cabeça.	36
Figura 19. Barreiro da Cerâmica Torreense “Quinta da Bogalheira n.º2”, junto à AE8. No nível argiloso B é possível a observação da barra arenítica intercalar. Possível Formação de Serreira (?).	37

Figura 20. Intercalações areníticas em corpo argiloso. Pormenor de figura de acreção com estrutura entrecruzada (leitos de areia cinzentos).	37
Figura 21: Coluna litológica tipo (III) para as explorações da Cerâmica Torreense e da Sorgila, localizadas no sector ocidental da zona de Outeiro da Cabeça (M:106811; P:245763).	38
Figura 22. Barreiro da Sorgila, junto à AE8. Formação de Serreira (?). Na base do nível argiloso inferior (D) ocorrem zonas cinzentas-escuras, provavelmente ricas em matéria orgânica.	38
Figura 23. Ilustração do barreiro “Quinta da Floresta”.	39
Figura 24: Coluna litológica tipo (IV) relativa ao barreiro da Cerâmica da Floresta mais uma pequena porção observada no topo da elevação, com lacuna de observação (M:110446; P:247440).	40
Figura 25. Desmonte para pesquisa no topo da elevação (v.g. Outeiro da Cabeça) por cima do barreiro principal da Cerâmica da Floresta. A - Pormenor do arenito de matriz argilosa branca que está na base do nível argiloso cartografado; B - Pormenor da argila cor de vinho com laivos acinzentados topo do nível argiloso. A amostra A11 foi recolhida neste nível.	41
Figura 26. Corte interpretativo do modelo dos corpos argilosos intercetados nas sondagens.	42
Figura 27. Fotografia exibindo o topo e a base do nível argiloso superior do sector central da zona do Outeiro do Seixo.	43
Figura 28. Fotografia de um dos barreiros do sector central da zona do Outeiro do Seixo com a ilustração do topo do nível argiloso inferior. É possível também a perceção de um nível intercalar argiloso no seio do arenito intermédio e o biselamento do nível arenítico.	43
Figura 29. Coluna litológica tipo (V) da sucessão sedimentar observada nos barreiros do sector central da zona de Outeiro do Seixo (M:102883; P:245625).	44
Figura 30. Perfil geológico C-D efetuado com a direção NW-SE para o sector central de A-dos-Cunhados.	44
Figura 31. Nível argiloso explorado no barreiro “Outeiro do Picoto” da Cerâmica Avelar.	45
Figura 32. Fotografia do barreiro abandonado. Representação do topo do nível argiloso.	46
Figura 33. Coluna litológica tipo (VI) da sequência observada neste barreiro abandonado (M:101306; P:245329).	46
Figura 34. Coluna litológica tipo (VII) da sequência observada no barreiro “Valeira” da C. Avelar (M:113998; P:244511).	47
Figura 35. Coluna litológica tipo (VIII) da sucessão sedimentar observada no barreiro de Adão Lobo (M:113681; P:252219).	48
Figura 36. Pormenores no barreiro da zona de Adão Lobo. A – Intercalações silto-arenosas cinzentas no seio do nível produtivo. B – Intraclastos argilosos (remobilizados) no seio do corpo arenítico.	48
Figura 37. Representação de alguns aspetos observados na zona de Casalinho.	

A – Fotografia de um talude da AE8 exibindo um nível argiloso, confinado por níveis areníticos. É também possível observar uma intercalação de argilas cinzentas; B – Topo do nível argiloso e contacto erosivo com nível arenítico observado no único barreiro (inativo) existente nesta área.	49
Figura 38. Coluna litológica tipo (IX) do enchimento sedimentar observado no sector mais a norte da área de Casalinho (M:110154; P:252342).	50
Figura 39: Ilustração das áreas potenciais e das áreas já exploradas. 1 - Áreas já exploradas; 2 - Área total; 3 - Áreas de trabalho; 4 - Áreas potenciais.	51
Figura 40. Curvas granulométricas cumulativas do total de amostras estudadas.	53
Figura 41. Agrupamento das curvas com melhor calibração	54
Figura 42. Agrupamento das curvas com maior graduação e menor calibração.	54
Figura 43. Diagrama ternário (Shepard, 1954) da distribuição dimensional do grão das amostras. (vértices do triângulo - argila: <4 µm; silte: 4-63 µm; areia: >63 µm)	55
Figura 44. Diagrama ternário das análises mineralógicas para a amostra integral e para a fração < 2 µm. Vértice esquerdo: Caulinite; Vértice superior: Minerais não argilosos (Quartzo + Feldspato K + Min. de Ferro); Vértice direito: Minerais argilosos (amostra integral: Illite-Montmorilonite + Illite/Mica; fração <2µm: Illite/Montmorilonite + Montmorilonite + Illite + Clorite).	58
Figura 45. Curva de ATD (a verde) e curva ATG (a azul) para a amostra A5. Exibida a título representativo. Na curva da ATG estão exibidas as temperaturas de início/fim das reações (parciais e total) e a variação. Na curva de ATD são exibidas as temperaturas dos picos das variações energéticas.	59
Figura 46. Composição química das amostras estudadas.	61
Figura 47. Diagrama de Winkler (1954) exibindo os campos de aptidão para cerâmica estrutural. 1- tijolo maciço; 2- tijolo furado; 3- telha; 4- tijoleira	64
Figura 48. Diagrama de trabalhabilidade. Adaptado de Bain & Highley (1978). (retângulo menor: trabalhabilidade ótima; retângulo maior: trabalhabilidade aceitável.	65
Figura 49. Diagrama de Casagrande com os campos definidos por Gippini (1969). Campo A - Características ótimas para a extrusão; Campo B - Características adequadas à extrusão. Linha a - fronteira entre as argilas inorgânicas (acima) dos siltes inorgânicos (abaixo). Linha b - fronteira entre os materiais consoante a sua plasticidade (baixa e elevada).	66
Figura 50. Gráfico exibindo os valores de resistência mecânica à flexão para os provetes a cru e cozidos.	70
Figura 51. Gráfico exibindo os valores de retração linear total para as diferentes temperaturas de cozedura.	71
Figura 52. Gráfico da capacidade de absorção de água dos provetes consoante as temperaturas de cozedura.	71

ÍNDICE DE QUADROS

	Página
Quadro 1. Principais vértices geodésicos da área de estudo, agrupados por concelho.	7
Quadro 2. Localização das amostras recolhidas para caracterização.	19
Quadro 3. As amostras submetidas a análises químicas.	22
Quadro 4. Sequências de aquecimentos com patamares definidos para as diferentes temperaturas de cozedura.	25
Quadro 5. Cotas de ocorrência de argilas comuns para cada um dos sectores definidos.	51
Quadro 6. Parâmetros utilizados para o estabelecimento da estimativa dos recursos argilosos.	52
Quadro 7. Composição mineralógica (semi-quantitativa) das amostras integrais.	56
Quadro 8. Composição mineralógica (semi-quantitativa) da fração <2 µm	57
Quadro 9. Razão Caulinite/Ilite-mica para as diferentes frações.	57
Quadro 10. Composições químicas por fluorescência de raios X dos elementos maiores (%).	61
Quadro 11. Valores de pH obtidos após medições ao fim de 1 minuto e após um intervalo de 15 minutos.	62
Quadro 12. Frações granulométricas utilizadas para a projeção no Diagrama de Winkler.	63
Quadro 13. Limites de consistência de Atterberg e os correspondentes índices de plasticidade para todas as amostras estudadas.	64
Quadro 14: Classificação dos materiais geológicos baseada no índice de plasticidade. Adaptado de Faria 2005 <i>in</i> Martins 2007.	65
Quadro 15. Valores da resistência mecânica à flexão em cru e valores da retração verde-seco de todas as amostras.	67
Quadro 16. Valores da resistência mecânica à flexão, retração total e absorção de água dos provetes a diferentes temperaturas de cozedura.	69

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

1.1. OBJETIVOS E ENQUADRAMENTO DO TEMA

Esta dissertação de mestrado foi desenvolvida paralelamente a um projeto de missão da Unidade de Recursos Minerais e Geofísica (URMG) do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG). Este projeto, intitulado “Cartografia e caracterização de recursos minerais da região de Torres Vedras - Bombarral” visou promover estudos sobre as potencialidades das formações do jurássico em depósitos de argilas comuns e inertes para eventual exploração, e também das potencialidades das formações cretácicas em depósitos de caulino e inertes também para eventual exploração. Embora a extração de argilas comuns e inertes compitam ao domínio privado, a promoção dos recursos minerais nacionais é uma competência fundamental do Estado Português, essencial para implementar boas políticas de ordenamento do território, e simultaneamente assegurando a correta extração das matérias-primas. O projeto foi lançado no seguimento de outro mais antigo (Pereira, 2003), de carácter mais preliminar, onde apenas foram promovidos estudos de reconhecimento, pretendendo-se com este trabalho dar continuidade aos estudos então realizados.

Neste trabalho estudaram-se as formações jurássicas e cretácicas, apenas com o objetivo de averiguar a potencialidade para fornecimento de argilas comuns, matérias-primas fundamentais para a aplicação em cerâmica de construção. Porém, desenvolveram-se outros aspetos importantes relativamente aos estudos anteriores, nomeadamente a cartografia dos ritmos argilosos, possibilitando assim o conhecimento da localização das principais zonas de jazida e consequentemente a definição das áreas potenciais principais. Outro fator que se pretendeu acrescentar, foi a caracterização química, mineral e tecnológica das matérias-primas, com o intuito de as classificar, em função das suas potencialidades para os aproveitamentos industriais mais adequados, assim como facultar um instrumento contributivo para a prática de lotação das matérias-primas ao nível da exploração, visando a manutenção da sua qualidade, assim como o aproveitamento integral dos recursos minerais existentes na região.

Esta monografia é composta por seis capítulos. O primeiro capítulo pretende dar uma nota de cariz introdutório, abordando brevemente as ocorrências e os núcleos de exploração de argilas comuns em Portugal, efetuando-se também uma breve caracterização da indústria cerâmica presente da região em estudo. No segundo capítulo dedica-se ao enquadramento da área estudada, a nível geográfico, geomorfológico e geológico. No terceiro capítulo são abordadas as metodologias que foram utilizadas nos trabalhos de campo e nos ensaios de laboratório. No quarto capítulo são apresentadas as descrições das sucessões sedimentares observadas, maioritariamente nas frentes de exploração. O corolário deste capítulo, o *Mapa Litológico e de Recursos Argilosos* é apresentado no Anexo 3. No quinto capítulo são caracterizadas as matérias-primas amostradas, apresentando-se

também a discussão dos resultados. No sexto e último capítulo são apresentadas as principais conclusões dos estudos realizados, cruzando para tal a informação dos dois capítulos precedentes.

1.2. ARGILAS COMUNS EM PORTUGAL

As argilas comuns podem classificar-se em dois tipos principais (Gomes, 1988; Velho *et. al.*, 1998). As argilas para olaria e as argilas com destino à cerâmica de construção. Estas últimas são o objeto de estudo desta dissertação e distinguem-se das primeiras por serem mais grosseiras. A terminologia *cerâmica de construção* refere-se à vasta gama de produtos que vão desde as telhas ao tijolo maciço, tijolo furado, abobadilha e ladrilhos, todos eles utilizados na construção civil.

As principais ocorrências de argilas comuns em Portugal (Fig. 1) estão associadas maioritariamente às Orlas Meso-Cenozóicas portuguesas em depósitos detríticos especialmente do Jurássico superior, Cretácico, Paleogénico, Miocénico e Plio-Plistocénico, existindo explorações também no interior do País associadas a depósitos fluviais, relacionadas com os rios Tejo, Sado, Mondego, Vouga e Cávado e em bacias geralmente com condicionamento tectónico. A localização das ocorrências é assim bastante diversificada, mas as principais localizam-se nos distritos de Santarém, Leiria, Aveiro e Lisboa.

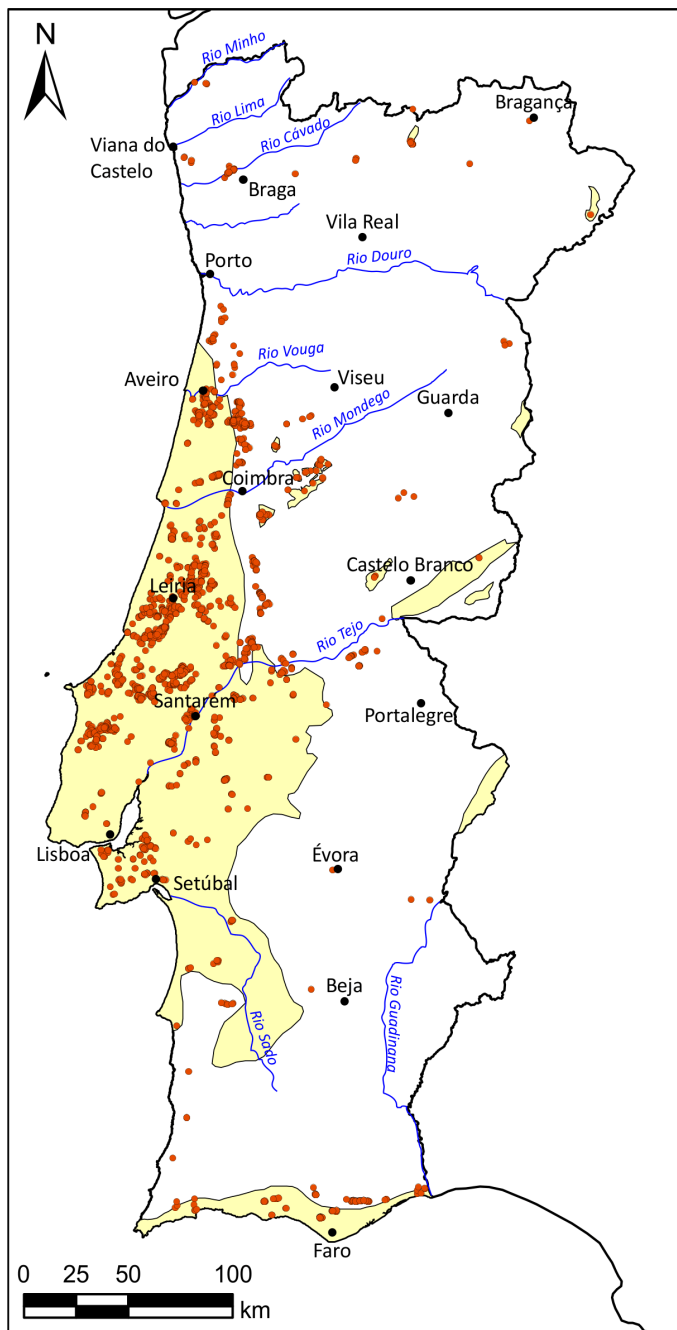


Figura 1. Ocorrências de argilas comuns em Portugal (pontos), segundo a Base de Dados de Recursos Minerais Não Metálicos do LNEG e representação das Bacias Meso-Cenozóicas (zonas sombreadas a amarelo).

A região estudada nesta dissertação constitui uma das principais áreas potenciais do País, com grandes reservas de matérias-primas argilosas para cerâmica de construção.

1.3. CARACTERIZAÇÃO DA INDÚSTRIA CERÂMICA DA REGIÃO

A extração de argilas comuns para cerâmica de construção constitui uma atividade tradicional na região de Torres Vedras – Bombarral, tendo-se a maior parte das cerâmicas instalado nas décadas de 60 e 70. Em toda a região existiram diversas fábricas de cerâmica de construção, conforme a presença das típicas chaminés assim o denuncia. Hoje em dia muitas fábricas encontram-se paralisadas ou abandonadas tanto por virtude da desatualização dos processos industriais como da crise económica que o País atravessa. Não obstante a produção é seguramente maior do que a que era há umas décadas, o que concorda com as observações de Silva (2002), que refere que o número de empresas cerâmicas tem vindo a decrescer ano após ano, tendo em contrapartida, e por automatização dos processos, aumentado exponencialmente o volume de produção, com recurso a apenas metade dos trabalhadores.

Na região, as cerâmicas que apresentam maiores produções são a Cerâmica Torreense e a Lusoceram. Possuem ambas, diversas unidades fabris, localizadas principalmente na área de Outeiro da Cabeça e no Ramalhal. Estas duas empresas, transformam respetivamente, cerca de 400 e 300 kt/ano de argila para produção de telha e acessórios, tijolo furado, face à vista e abobadilha. Estas são as empresas com maior número de colaboradores: cerca de 200 e 180, respetivamente. As outras cerâmicas em laboração na área são a Cerâmica Avelar, a Cerâmica Outeiro do Seixo e a Cerâmica da Floresta. Estas empresas produzem tijolo e abobadilha, e apresentaram em 2010 produções entre 90 e 150 kt. O número de colaboradores destas unidades é geralmente inferior a 40. A quase totalidade das matérias-primas utilizadas pela maioria destas unidades é explorada em barreiros contíguos às fábricas ou provém de distâncias inferiores a 5 km.

O sector da cerâmica de construção é um sector competitivo e inovador, no entanto tem sofrido imensas perdas em virtude do estrangulamento que tem vivido o ramo da construção civil em Portugal, tendo levado a um decréscimo de procura por materiais cerâmicos. Paralelamente com a maioria dos núcleos produtores tradicionais do País, a produção de cerâmica vermelha nesta região, sofreu uma forte retração, sobretudo a partir de 2007. Os valores totais de matérias-primas extraídas dos barreiros das cinco principais cerâmicas da região atrás citadas, para o início da década anterior (Pereira, 2003), eram da ordem das 2 Mt/ano, baixando para cerca de 0,8 Mt em 2010/2011. De forma a contrariar a crise que tem assolado o ramo da construção civil, as empresas do sector cerâmico têm diversificado a sua oferta, e têm-se frequentemente voltado para mercados externos, nomeadamente outros países da Europa, do Médio Oriente, do Norte de África, dos PALOP's e da

Ásia, o que levou a um considerável aumento do volume de produtos cerâmicos exportados, sobretudo os de maior valor acrescentado.

CAPÍTULO II - ENQUADRAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO E GEOMORFOLÓGICO

A zona em estudo nesta dissertação enquadra-se, segundo a Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP 2012.1 IGP) no distrito de Lisboa (Figura 2-A e 2-B), mais concretamente nos municípios de Torres Vedras, Lourinhã e Cadaval. Parte da área está também no distrito de Leiria, nomeadamente no município do Bombarral. A área de trabalho localiza-se a noroeste da Serra de Montejunto e a sudoeste da Serra de Candeeiros. Está inserida na vulgarmente conhecida “zona do oeste”, correspondente à NUTS III - Oeste (nomenclatura das unidades territoriais para fins estatísticos – 3.ª nível).

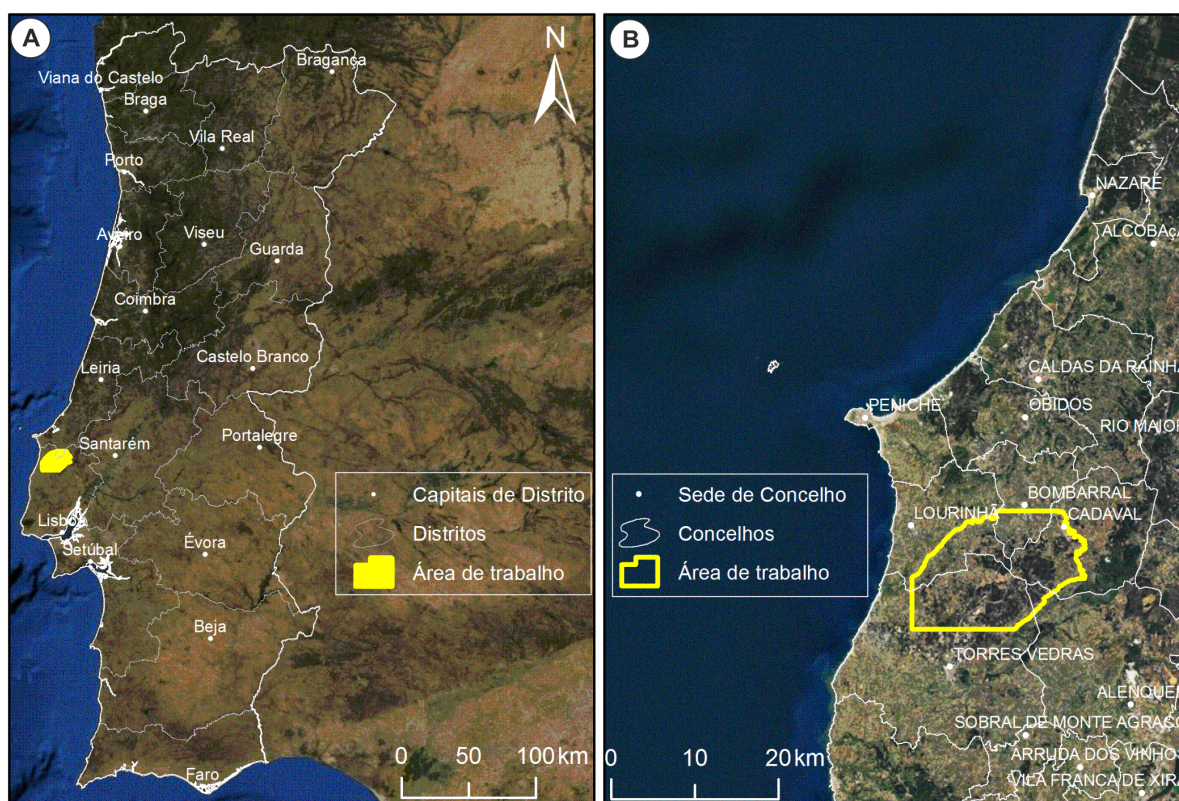


Figura 2. Localização geográfica da área de estudo. (Imagens satélite: ESRI World Imagery - IGP)

No que diz respeito a vias de transporte (Fig. 3), toda a área é atravessada (em direção norte-sul) pela autoestrada A8 e pela linha ferroviária do oeste. É também abrangida por uma extensa rede rodoviária complementar, que estabelece ligações entre as principais povoações. A área de trabalho dista cerca de 70 km de Lisboa, o que faz com que esteja relativamente próxima do principal mercado consumidor de produtos de cerâmica de construção.

A região caracteriza-se pela constante e uniforme ocupação do território, tendo uma densidade populacional média, onde as zonas urbanizadas correspondem, geralmente, pequenas povoações. O território é ocupado por um mosaico agro-florestal e industrial, onde predomina a cultura do eucalipto em grandes manchas florestais, as estufas de hortofrutícolas, pomares de pera-rocha, maçãs e vinhas. Existem também diversas unidades de produção avícola e fábricas de cerâmica de construção.

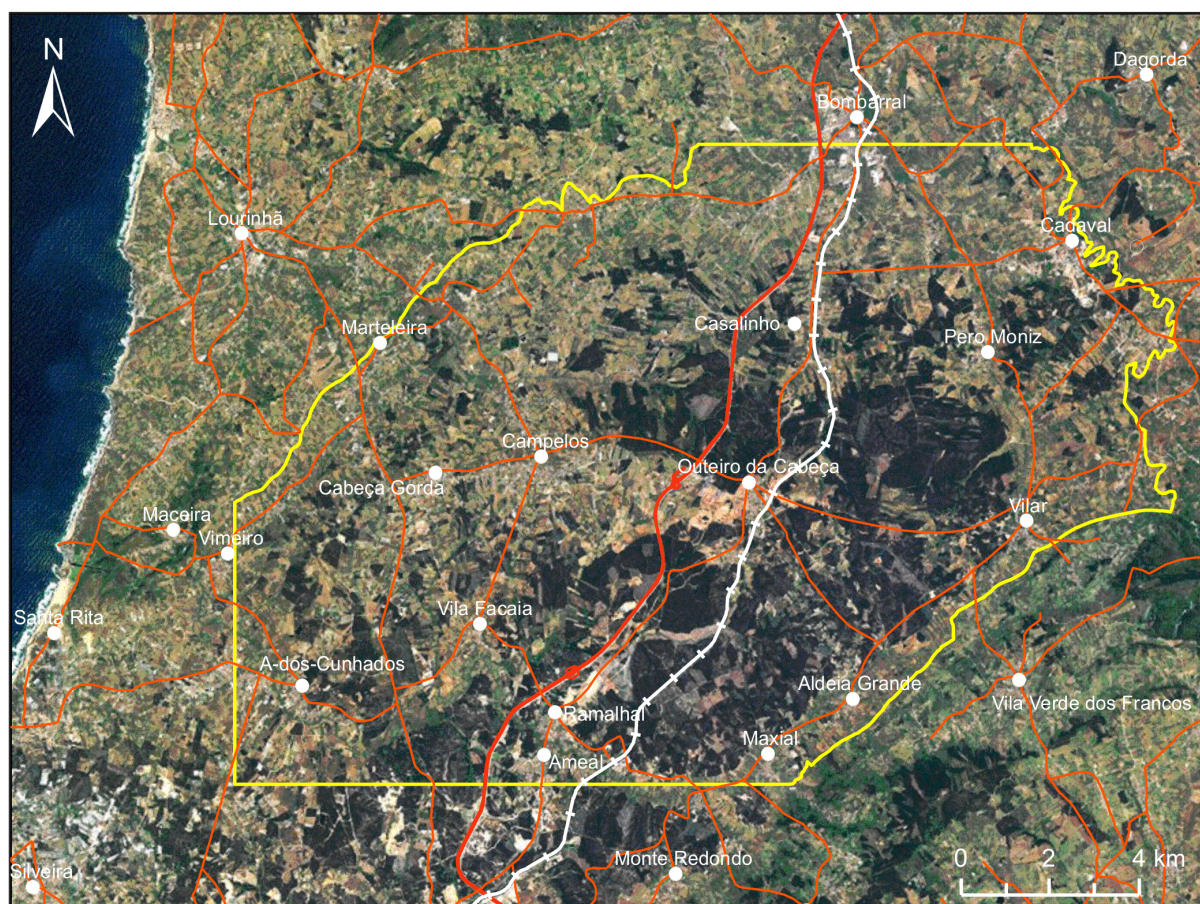


Figura 3. Localização geográfica regional da área de estudo. (Imagem satélite: ESRI World Imagery - IGP)

Do ponto de vista geomorfológico, a zona enquadra-se na unidade de paisagem da Estremadura meridional (Ribeiro, O. *et al.*, 1987). A paisagem característica da região é representada por relevos ondulados, onde as variações altimétricas são pequenas e os declives suaves. Sendo as formas topográficas comuns na região os cabeços e os vales pouco pronunciados, como se ilustra na figura 4. Em termos altimétricos, a zona tem como elevações mais pronunciadas os vértices geodésicos que constam do quadro 1.

Quadro 1. Principais vértices geodésicos da área de estudo, agrupados por concelho.

Lourinhã	Torres Vedras	Bombarral	Cadaval
Pinhoa - 156m	Outeiro da Cabeça – 180m	Tracalaia – 168m	Cabeça Gorda 1 - 165m
Cabeça Gorda 2 - 128m	Outeiro Gordo – 146m	Estorninho – 136m	Estornadiço – 146m
Rijos – 123m	Campelos – 136m	Vale Covo – 96m	Chão do Sapo – 139m
Marteleira - 103m	Outeiro do Sobrado – 136m	-	Pero Moniz – 122m

A região com menores valores altimétricos corresponde ao vale onde está encaixada a Ribeira de Alcabrichel, desde A-dos-Cunhados até próximo do Ramalhal, onde as cotas são geralmente inferiores a 40 m. Outras zonas deprimidas da área em estudo são o vale do Rio Grande (a NW da área de trabalho) e os vales do Rio Real, a sul do Bombarral, ambas as zonas com cotas inferiores a 50 m.

As linhas de água formam um sistema dendrítico, muito ramificado, sendo diversas linhas de água de escorrência sazonal. O Rio Grande, a Ribeira de Alcabrichel, e os correspondentes subsidiários fluem em sentido este-oeste. Já o Rio Corga e Rio Real instalaram-se segundo a direção sul-norte.

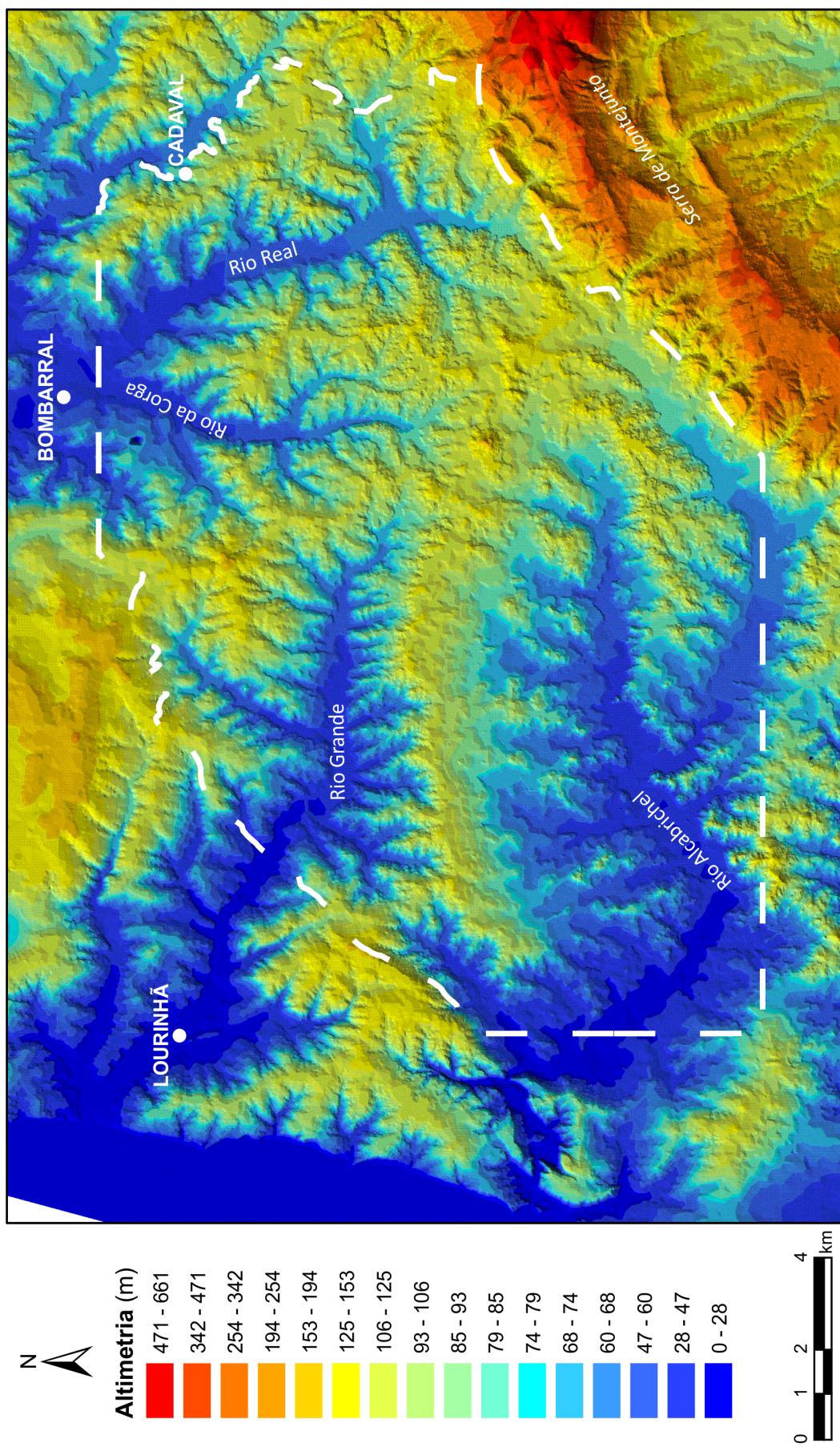


Figura 4. Representação altimétrica da área de estudo.

2.2. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

2.2.1. BACIA LUSITANIANA – EVOLUÇÃO, LITOSTRATIGRAFIA E SECTORES

A área objeto de estudo insere-se na Bacia Lusitaniana ou Bacia Lusitânica, importante unidade morfo-estrutural no quadro da evolução geológica do Mesozóico e que constitui um profundo fosso aberto no substrato Paleozóico.

Esta bacia sedimentar desenvolveu-se na Margem Ocidental Ibérica durante parte do Mesozóico, estando a sua dinâmica enquadrada no contexto da abertura do Oceano Atlântico Norte. Foi formada em regime distensivo, por estiramento crustal, inicialmente associado à fragmentação da Pangeia. Caracteriza-se por pertencer a uma margem continental do tipo atlântico de *rift* não vulcânica (Kullberg, 2000). Segundo os mesmos autores esta bacia sofreu 4 episódios de *rifting*.

A bacia sedimentar ocupa uma área superior a 20.000 km², estendendo-se por cerca de 200 km segundo uma direção aproximada NNW-SSE e por mais de 100 km na direção perpendicular. Cerca de 2/3 da área da bacia afloram na área continental emersa e a restante área, encontra-se imersa na plataforma continental (Kullberg *et al.*, 2006).

A Bacia Lusitaniana é constituída por sedimentos de idades que vão desde o Triásico Superior até à transição Cretácico Inferior/Superior. A área de trabalho que serviu de base a esta dissertação insere-se em terrenos do Jurássico Superior e da transição para o Cretácico Inferior.

Com base nas espessuras das unidades litostratigráficas, e nas variações de fácies, a Bacia Lusitaniana foi dividida em vários sectores (Kullberg, 2000) (Fig. 5): o Sector Norte, localizado a norte da Falha da Nazaré, o Sector Central situado a sul da referida falha e incluindo ainda o Estuário do Tejo e o Sector Sul que se localiza a sul do Estuário do Tejo até aos limites sul da bacia. Esta zona também é conhecida por Sector da Arrábida.

A área de estudo está localizada no Sector Central da grande unidade morfo-estrutural que é a Bacia Lusitaniana, na denominada sub-Bacia do Bombarral (Fig. 6).

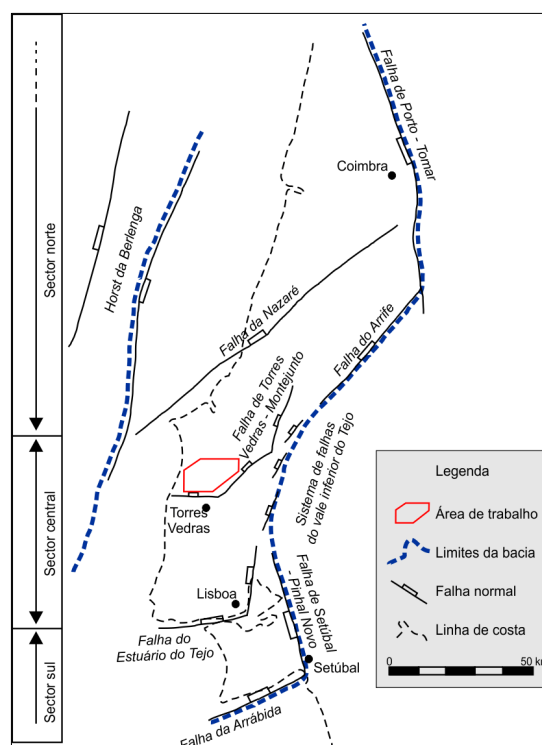


Figura 5. Limites da Bacia Lusitaniana, os seus sectores e localização da área de estudo (adaptado de Kullberg *et al.*, 2006).

A definição de sub-bacias tem por base variações laterais de fácies de formações com idades semelhantes. O facto que esteve na origem destas diferenciações foi a variabilidade das condições de sedimentação, que começou durante o Jurássico Superior (passagem do Oxfordiano - Kimeridgiano). Nesse período, a Bacia Lusitaniana sofreu uma forte reestruturação, levando a uma diferenciação em diversas sub-bacias no sector central, das quais a sub-bacia de Bombarral (a norte), confinada pelas sub-bacias de Turcifal a Sudoeste e de Arruda a Sudeste. O limite entre estas bacias é a Falha de Torres Vedras - Montejunto (Montenat *et al.*, 1988).

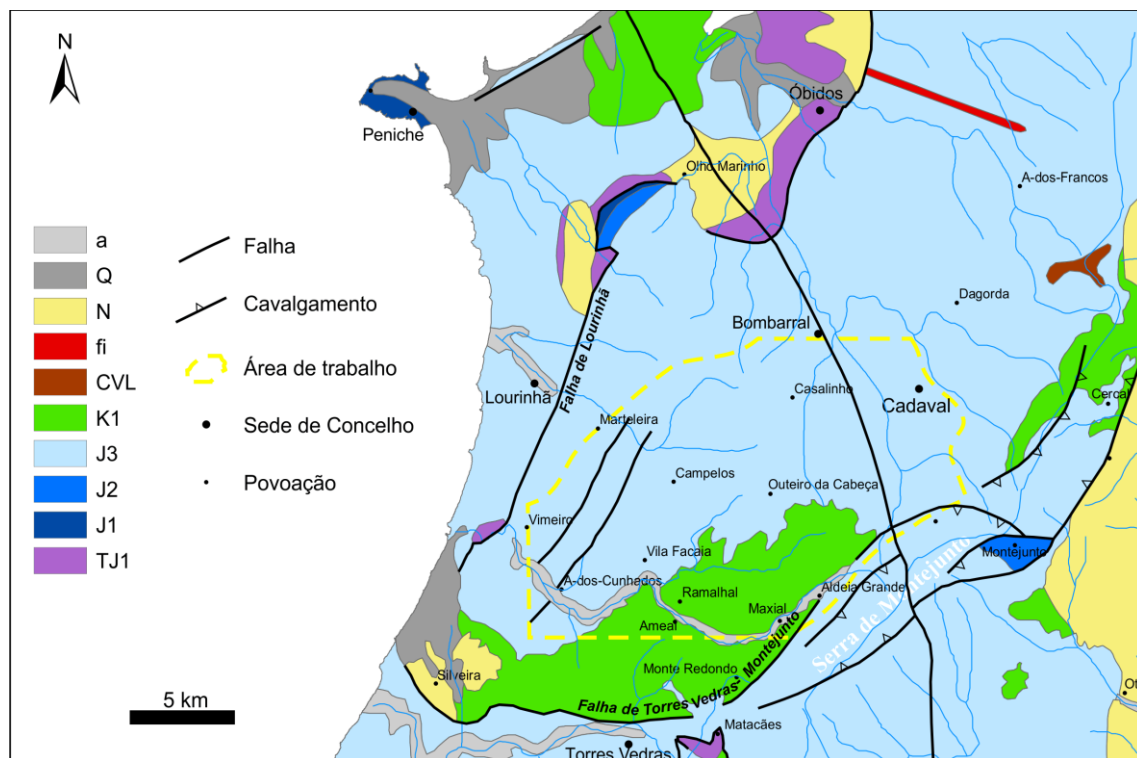


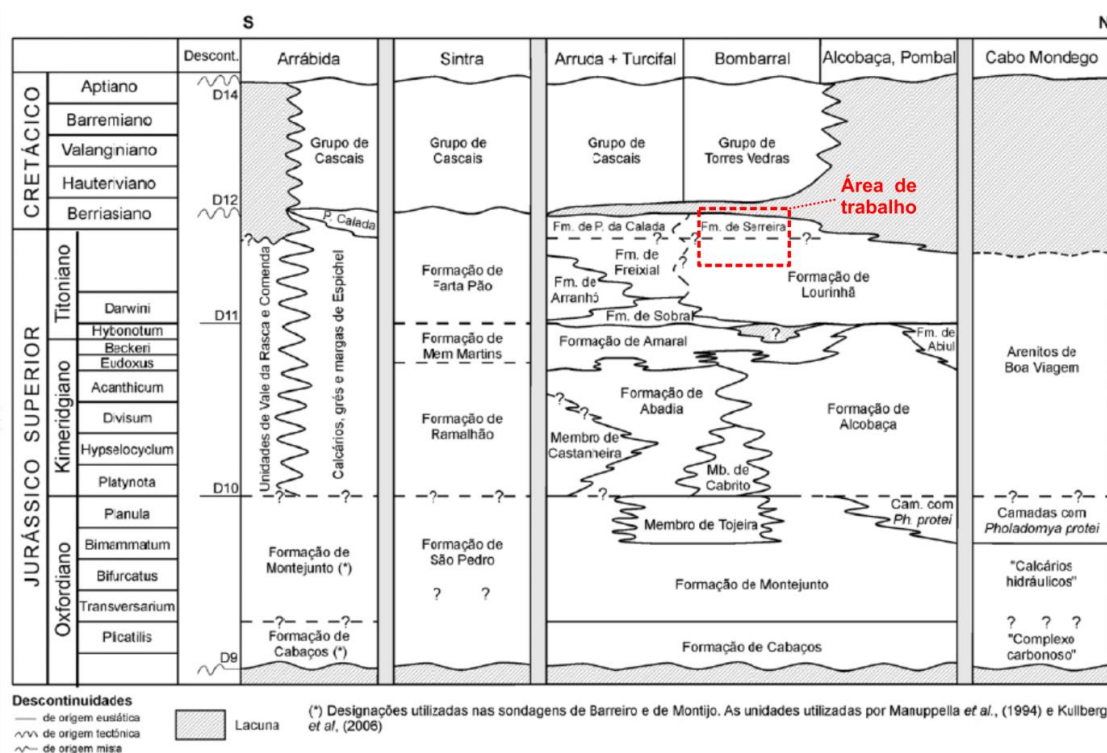
Figura 6. Mapa geológico de enquadramento regional da zona em estudo. Adaptado da Carta Geológica de Portugal à escala de 1:1.000.000 (LNEG, 2010).

Legenda: a – Holocénico; Q – Quaternário; N – Neogénico; fi – Filão básico; CVL – Cretácico Superior; K1 – Cretácico Inferior; J3 – Jurássico Superior; J2 – Jurássico Médio; J1 – Jurássico Inferior; TJ1 – Triásico Superior.

O estilo tectónico da Bacia Lusitaniana é caracterizado pela presença de acidentes de direções variadas, que correspondem em grande parte ao rejogo pós-hercínico de rede de fraturas tardi-hercínicas (Ribeiro *et al.*, 1979). Assim, do ponto de vista tectónico na área de trabalho distinguem-se:

a) Um conjunto de falhas com direção NNE-SSW. Segundo Wilson (1989), o primeiro episódio de *rifting*, associado à abertura do Proto Atlântico, foi o responsável pela abertura destas discontinuidades. Esta família é também a direção predominante dos acidentes diapíricos da bacia. Este sistema de fraturas terá sofrido rejogo devido à compressão Alpina (NNE-SSW) que lhes imprimiu movimento desligante esquerdo (Ribeiro *et al.* 1990);

b) As falhas NW-SE, que estão associadas à abertura da bacia durante o Mesozóico. O seu traçado pouco retilíneo terá relação com o rejogo de estruturas pré-existentes. Esta é a orientação dos acidentes secundários no interior dos grandes blocos limitados pelos acidentes primários (alínea a). Segundo Wilson *et al.* (1989), estas falhas extensionais, possuíram forte influência no sistema de drenagem da sub-bacia do Bombarral.



2.2.2. FORMAÇÕES AFLORANTES

Segundo Kullberg *et al.* (2006), a Formação de Lourinhã, na sub-bacia do Bombarral, apresenta espessura muito variável, entre 600 a 1100 m (Hill, 1988; Leinfelder & Wilson, 1989; Rocha *et al.*, 1996). É

constituída, na parte inferior (=Pteroceriano *sensus* Choffat), por sequências de margas, calcários margosos e calcários detríticos ricos em bivalves. A parte superior (= Freixialiano *sensus* Choffat) compreende sequências de depósitos siliciclásticos margino-litorais, associados a margas e calcários. É esta parte superior da formação que foi alvo de estudo cujos sedimentos correspondem a uma fase de colmatação marinha da bacia e à instalação de sistemas deposicionais continentais no final do Jurássico (Pimentel, 2009). Litologicamente estes depósitos são essencialmente constituídos por arenitos finos a grosseiros (exibindo estratificação horizontal, entrecruzada e figuras de canal) com calhaus rolados, possuindo intercalações lenticulares de siltes e argilas com tonalidades que vão do vermelho arroxeadado ao castanho amarelado, podendo a sua espessura chegar a atingir vários metros. No seu conjunto a unidade terá sido depositada em ambientes de linhas de água meandriformes que atravessam áreas deltaicas ou aluviais.

Os acarreios siliciclásticos tiveram origem nos quadrantes ocidental e oriental da bacia (Hill, 1988; Leinfelder, 1999). Esta formação, no que respeita à região em estudo, apresenta estratificação geral inclinada para os quadrantes sul, geralmente com pendores baixos, quase sempre inferiores a 10°. Estes pendores poderão estar relacionados com o basculamento de diversos blocos para SE, que se verificou na passagem do Oxfordiano – Kimeridgiano, o 4º episódio de *rifting*.

Sobre esta unidade depositou-se a Formação de Serreira, atribuída parcialmente ao Cretácico inferior (Titoniano (?) - Berriasiano Inf. (?)) (Rey, 1972 & 1993). Esta formação é constituída por alternâncias de conglomerados e arenitos cinzentos, amarelos e vermelhos, exibindo estratificação entrecruzada e interestratificados com argilas, mais ou menos siltíticas, vermelhas e vermelhas e violáceas. Estes depósitos, característicos de ambiente fluvial meandriforme (30 m de espessura), organizam-se em sequências fluviais granodecrescentes com espessura de 2 a 5 m e, litologicamente não diferem muito da Formação de Lourinhã, a muro.

A passagem do Jurássico para o Cretácico, segundo Rey (1993) é expressa pela primeira bancada de grés grosseiro acima do último nível de argilas violáceas ou vermelhas, dolomias ou bancadas de arenitos com estratificação horizontal. Esta descrição foi efetuada perto de Torres-Vedras que dista alguns quilómetros da área de trabalho, pelo que se considera com reservas. No entanto, nos trabalhos de campo constatou-se que os arenitos da Formação de Serreira parecem ser mais compactos que os da Formação da Lourinhã.

As outras formações cretácicas que se sobrepõem à Formação de Serreira e que integram a mancha cretácica a sul e sudeste, correspondem ao Grupo de Torres-Vedras (Rey, *op. cit.*). Sinteticamente, o Grupo de Torres Vedras apresenta cores esbranquiçadas, amareladas e acinzentadas e é constituído por arenitos de granulometria variável, frequentemente grosseiros, arcósicos, caulíníferos, por vezes ferruginosos, com algumas intercalações de siltes e argilas variegadas, por vezes arenosas e bancadas

conglomeráticas. A génese destes arenitos relaciona-se com ambientes fluviais meandriformes ou ambientes pantanosos marginais/litorais.

Nos mapas produzidos, optou-se pelo agrupamento das formações integrantes do Grupo de Torres Vedras (excecetuando a Formação de Serreira), por nelas prevalecerem fácies arenosas e, as fácies “argilosas” existentes serem destituídas de interesse, até agora, do ponto de vista de cerâmica de construção. As formações agrupadas têm idades que vão desde a base do Cretácico inferior (Berriasiano superior) até quase ao topo do Cretácico inferior (Aptiano) e apresentam a seguinte organização sequencial (da base para o topo): Formação de Vale de Lobos (Berriasiano superior - Valanginiano); Formação de São Lourenço (Valanginiano); Formação de Santa Susana (Valanginiano - Hauteriviano); Formação de Lugar d’ Além (Hauteriviano); Formação de Fonte Grada (Hauteriviano - Barremiano inferior) e Formação de Almargem (Barremiano superior - Aptiano). As principais fontes de sedimentos siliciclásticos destas formações têm como origem o Maciço Hespérico a Este, e o *Horst* ígneo das Berlengas a oeste (Rey 1972 & 1993; Montenat *et al.* 1988; Kullberg *et al.* 2006).

Na área afloram ainda sedimentos Plio-Plistocénicos em terraços antigos, constituídos por areias e cascalheiras. Ocorrem também terraços Pliocénicos, segundo o mesmo padrão de afloramento. Estas duas formações foram agrupadas a nível cartográfico. Existem também formações aluviais mais recentes, do Holocénico, que correspondem geralmente a areias associadas a lodos siltosos e ocorrem junto das linhas de água.

Como foi referido atrás, para a produção dos mapas foram consideradas as afinidades litológicas de diferentes formações, tendo em conta a sua potencialidade intrínseca em argilas para cerâmica de construção. Assim, esse agrupamento fez-se da seguinte maneira:

- a) **Depósitos aluvionares** – correspondem aos depósitos fluviais recentes, de idade holocénica;
- b) **Areias e cascalheiras** – englobam-se sob esta designação os depósitos de Terraços do Plio-Plistocénico e Plistocénico;
- c) **Arenitos e conglomerados avermelhados** – este litótipo compreende as fácies predominantemente grosseiras da Formação de Lourinhã e Formação de Serreira. Estas fácies integram arenitos finos a grosseiros e conglomerados, com matriz argilosa e cor predominantemente avermelhada. Podem ocorrer intercalações lenticulares de siltes e argilas com tonalidades que vão do vermelho arroxeado ao castanho amarelado e cinzento;

c.1. Argilas – este litótipo corresponde aos ritmos argilosos identificados e cartografados.

Compreende as fácies argilosas da Formação de Lourinhã e Formação de Serreira, que se identificaram no campo;

d) Arenitos e conglomerados de cores claras – englobam as unidades litostratigráficas do Grupo de Torres Vedras (Berriasiano Superior a Aptiano). Este litótipo integra arenitos finos a grosseiros predominantes, feldspáticos, de cor dominante branca, amarelada a acinzentada, por vezes com laivos ferruginosos e com algumas intercalações de argilas arenosas pouco espessas, com calhaus dispersos, também de cores claras e níveis conglomeráticos.

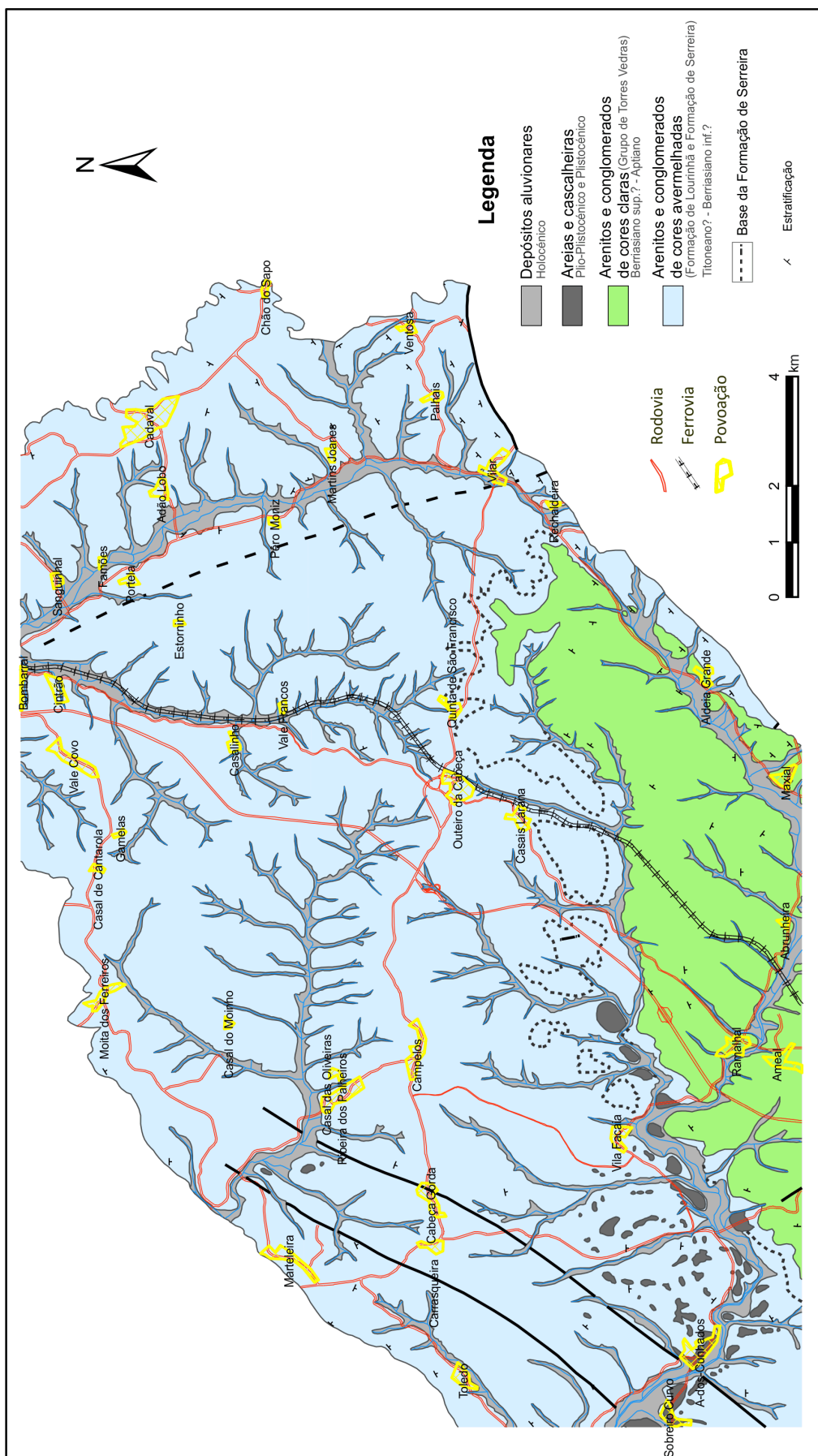


Figura 8. Mapa litoestratigráfico da área de trabalho

CAPÍTULO III - METODOLOGIAS

3.1. PREPARAÇÃO DOS TRABALHOS

Para a preparação dos trabalhos de campo realizou-se uma pesquisa bibliográfica com o objetivo de compilar a informação disponível, definindo assim o estado de arte do conhecimento geológico da zona. Os principais trabalhos consultados foram relatórios técnicos do antigo Instituto Geológico Mineiro e Resumos Não Técnicos de Estudos de Impacte Ambiental referentes à atividade extrativa. Foi também consultada a base de dados da indústria extrativa e a base de dados de sondagens do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG).

A base cartográfica utilizada para os trabalhos de campo foram as folhas 349 (Lourinhã); 350 (Bombarral); 361 (A-dos-Cunhados – Torres Vedras) e 362 (Ramalhal – Torres Vedras), da Carta Militar de Portugal (escala 1:25.000) editadas pelos Serviços Cartográficos do Exército. Para o mapa geológico foi consultada a folha 30-A (Lourinhã) e a folha 30-B (Bombarral), da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50.000. Foi também considerada a cartografia das diferentes formações do Cretácico desenvolvida por Rey (1972, 1993).

Foi efetuada observação de fotografia aérea em estereoscópio, à escala 1:15.000, nomeadamente as fiadas 9, 10, 11C, 12C e 13D (voos de 1989) do Instituto Português de Cartografia e Cadastro, com o objetivo de se observar as principais estruturas geológicas regionais, a deteção de eventuais lineamentos e a inventariação da atividade extrativa relativa ao período dos voos.

A consulta dos *logs* de sondagens foi realizada para analisar o eventual potencial interesse económico em argilas comuns, isto é, a espessura dos níveis argilosos atravessados, as suas características cromáticas e granulométricas, assim como a sua posição relativamente à superfície. Para tal análise só se consideraram os primeiros 30 m de furo, pois raramente um barreiro ultrapassa estas profundidades. Assim, para uma ampla área potencial, foram consultadas 73 sondagens que constam da base de dados da Unidade de Águas Subterrâneas e da Unidade de Sondagens (LNEG). A maioria das sondagens consultadas são de pesquisa de água para abastecimento público, cerca de 17 para reconhecimento geológico de níveis argilosos (atualmente já explorados) por parte de uma empresa de Cerâmica, 8 de reconhecimento geotécnico e duas de pesquisa de hidrocarbonetos.

A análise crítica das 73 sondagens, conjuntamente com o reconhecimento geológico preliminar da região, permitiu levar à delimitação da presente área de trabalho. Dessas 73 sondagens inicialmente consultadas, apenas 27 estão contidas na atual área de trabalho, sendo que destas, apenas sete não apresentam potencial económico em argilas comuns, quer pelos escassos corpos argilosos atravessados, quer pelas dúvidas relativamente às descrições litológicas. As sondagens consideradas como interessantes,

relativamente ao potencial económico em argilas constam do *Mapa Litológico e de Recursos Argilosos* (Anexo 3).

De modo a garantir o acesso às unidades extrativas em exploração, assim como a recolha de informações pertinentes acerca deste sector industrial, foram estabelecidos contactos informais com industriais do sector cerâmico da região. No decorrer destes contactos foi efetuada uma visita guiada a uma unidade industrial de fabrico de tijolo.

Todos os dados recolhidos foram implementados num Sistema de Informação Geográfica (SIG) de modo a poder produzir mapas para trabalhos de campo assim como o mapa final de afloramentos. Para a criação do SIG, foi necessária a vectorização de diversos itens constantes nas cartas geológicas, cartas topográficas e fotografia aérea, tais como a geologia, zonas urbanizadas, estradas, linhas de água e curvas de nível. O *software* utilizado para estas tarefas foi o ArcMap™ 9.3. da ESRI.

As informações recolhidas durante os trabalhos de campo, isto é, inventariação da atividade extrativa, a cartografia dos ritmos argilosos, a descrição de afloramentos e amostras recolhidas, foram inseridas no SIG à medida que os trabalhos de campo iam decorrendo.

Foi ainda possível, com o auxílio dos dados altimétricos, a construção de um modelo digital do terreno, que auxiliou na cartografia dos níveis argilosos e na interpretação geomorfológica.

3.2. METODOLOGIAS DE CAMPO

3.2.1. CARTOGRAFIA DE AFLORAMENTOS

Os trabalhos de campo constituíram uma fase essencial do trabalho. A cartografia dos ritmos argilosos foi efetuada com recurso às cartas topográficas à escala 1:25.000 dos Serviços Cartográficos do Exército, auxiliada com fotografia aérea com 1 m de resolução do Instituto Geográfico Português. Foi ainda necessário o auxílio de um GPS para as zonas onde a floresta densa impossibilita a localização precisa no mapa.

Muitas das vezes, atendendo à espessura de solos residuais (escassez de afloramentos ou de reduzidas dimensões) e ao coberto vegetal que existe na região, os trabalhos usuais de geologia de superfície não foram viáveis, pelo que a maioria das vezes, a cartografia tradicional não foi exequível. Assim, algumas das porções dos níveis argilosos cartografados são extrapolações posicionais, isto é, previu-se a posição em carta dum determinado nível argiloso apenas avistado numa zona restrita (barreiro/talude).

Simultaneamente à cartografia de afloramentos, procedeu-se à sua descrição detalhada, quer os taludes expostos pela escavação nos barreiros, assim como taludes de estradas e outras pequenas ravinas. Esta descrição contemplava itens como a cor dos arenitos, a sua calibração, figuras de estratificação e possança. Para os níveis argilosos era também registada a sua cor, possança, aspeto textural, cotas altimétricas da base e do topo de cada ritmo argiloso. A sua descrição foi complementada com o esboço de colunas litológicas sintéticas e com fotografias dos afloramentos que permitem, no gabinete, tirar algumas dúvidas relativas aos materiais caracterizados no terreno.

3.2.2. COLHEITA DE AMOSTRAS

A colheita de amostras para caracterização laboratorial foi efetuada apenas depois de terminados os trabalhos de campo, pois só assim se conseguiria garantir que a amostragem fosse a mais equilibrada e representativa possível, atendendo aos afloramentos inventariados. No entanto, a colheita de amostras foi dificultada e limitada por diversos fatores associados ao tipo de afloramento característicos destas formações. A espessura de solo verificada por cima dos níveis argilosos aflorantes, na maioria das vezes mascara e contamina eventuais colheitas de amostras que se processem em pequenos taludes de estrada ou escavações, sendo os afloramentos disponíveis para colheita de amostras válidas, raros em vastas áreas. Estes condicionalismos implicaram que a amostragem não obedecesse a uma malha regular, tendo havido zonas com uma elevada densidade de colheita de amostras e outras zonas onde não foi possível qualquer tipo de amostragem. Assim, todas as amostras foram recolhidas em taludes de barreiros, onde as condições de amostragem são mais próximas do ideal.

A amostragem foi realizada em coluna, num rasgo vertical efetuado no nível argiloso, onde se pretendia recolher a amostra mais representativa possível. Para cada amostra foram recolhidos cerca de 10 kg de material silto-argiloso. Procedeu-se ao registo das coordenadas dos pontos de amostragem, assim como a posição estratigráfica do referido nível.

Geralmente, as amostras foram recolhidas aos pares, isto é, num determinado barreiro era recolhida uma amostra no nível superior de material argiloso e outra no nível inferior. Tal procedimento prendeu-se com a razão de investigar possíveis diferenças nos níveis argilosos.

A localização das 14 amostras recolhidas está no quadro seguinte e também no *Mapa Litológico e de Recursos Argilosos* (Anexo 3).

Quadro 2. Localização das amostras recolhidas para caracterização.
Sistema de coordenadas Datum Lisboa, Hayford-Gauss.

Amostra	X [m]	Y [m]
A1	103065	245657
A2	102786	245580
A3	108489	247021
A4	108137	247084
A5	107692	246557
A6	107707	246594
A7	106996	245867
A8	106960	245854
A9	110297	247490
A10	110310	247472
A11	110626	247386
A12	106678	245803
A13	107005	245986
A14	113682	252206

3.3. METODOLOGIAS LABORATORIAIS

As amostras recolhidas durante os trabalhos de campo foram enviadas para o Laboratório da Unidade de Ciência e Tecnologia Mineral do LNEG, localizado em São Mamede de Infesta. Este laboratório é acreditado pelo IPAC (Instituto Português de Acreditação), e as metodologias a seguir descritas são os procedimentos padrão deste laboratório e foram efetuados segundo as normas americanas (ASTM), nacionais (EN) e/ou desenvolvidas pelo próprio laboratório.

Apesar dos ensaios e técnicas analíticas a seguir descritas não terem sido executados por parte do candidato a mestre, acreditou-se que era importante a presença das metodologias laboratoriais, de modo a que se possa tornar reproduzíveis, ou reutilizáveis, alguns dos dados que constam nesta dissertação.

3.3.1. CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA

O conhecimento da distribuição das dimensões das partículas nas amostras é uma variável extremamente importante na caracterização das matérias-primas argilosas, pois trata-se de um facto que influencia fortemente as propriedades e o comportamento das pastas cerâmicas durante as diferentes fases de fabrico.

Pelo facto das amostras recolhidas para esta dissertação, se tratarem geralmente de amostras silto-argilosas, ou seja, com baixo conteúdo de fração areia e frações superiores, a análise granulométrica foi realizada em dois processos por questões operacionais.

Primeiro procedeu-se a um corte, por via húmida, utilizando o peneiro de malha 355 μm . O resíduo retido nesse peneiro foi seco em estufa, a uma temperatura de 80 °C. Após o arrefecimento das amostras, esse resíduo foi pesado, permitindo assim quantificar a fração > 355 μm . Caso essa fração ultrapassasse os 10% do total da amostra, era feita nova peneiração (via seca), utilizando uma coluna de peneiros (355, 500, 710, 1000, 1400, 2000, 2800 e 4000 μm), conforme as normas E 239 (1967) e ASTM-D422-63.

Para a fração mais fina (< 355 μm), a análise granulométrica foi efetuada recorrendo a um granulómetro de raios laser *Coulter LS 130*, utilizando o módulo de líquidos. Foi necessária a aplicação de uma correção analítica para as frações analisadas no granulómetro, tendo em conta a quantidade de fração > 355 μm .

3.3.2. CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA

Realizaram-se análises mineralógicas semi-quantitativas que permitem a identificação e quantificação dos diferentes minerais presentes nas amostras. Este método baseia-se em fazer incidir um feixe monocromático de raios X, numa fina camada de amostra previamente preparada. O seu princípio de funcionamento baseia-se nas diferentes características de difrações dos raios X que os diferentes minerais apresentam e que são influenciadas pelas suas estruturas cristalinas.

Trata-se de uma técnica de grande importância na caracterização de matérias-primas, pois a determinação dos constituintes e da sua proporção relativa permitem, com algum grau de certeza, prever e explicar o seu comportamento tecnológico nas pastas cerâmicas durante as diferentes etapas de produção (Extração → Lotação → Preparação da pasta → Moldagem das peças → Secagem → Cozedura).

As análises foram efetuadas num difractómetro de raios X, marca *Philips*, sendo usado um conjunto composto por um gerador PW 1830, um goniómetro PW 1820 e um contador de impulsos PW 1710 (*Diffraction Control*). Foi utilizada uma ampola de Cobalto de 2700 W, uma diferença de potencial 40 kV, com intensidade 40 mA, e uma velocidade de rotação do goniómetro de 1 °/minuto, com velocidade do papel registador 1 cm/minuto. O registo dos dados e leitura foram processados com recurso ao *software PW1877 Automatic Powder Diffraction version 3.6h*.

De modo poder quantificar-se os minerais presentes nas amostras, a interpretação dos difractogramas foi complementada pela análise térmica gravimétrica (ver ponto 3.3.5.).

Foram efetuadas análises mineralógicas nas 14 amostras recolhidas, tanto nas amostras integrais como para a fração < 2 µm.

3.3.3. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA

As análises químicas, aliadas ao conhecimento da composição mineralógica, são indispensáveis para o estudo do comportamento das propriedades tecnológicas das matérias-primas cerâmicas. Foi utilizada a análise elementar quantitativa por fluorescência de raios-X dos elementos químicos maiores, que no quadro de resultados são apresentados sob a forma de óxidos. Esta técnica baseia-se na capacidade dos átomos dos elementos químicos emitirem radiações específicas quando submetidos a um feixe policromático de raios-X. A intensidade dessa reação depende maioritariamente da concentração do elemento. Trata-se de uma técnica analítica onde se estima que a precisão seja de 1%, com uma exatidão de 5% (Oliveira, 2010), permitindo apenas a análise de elementos com número atómico superior a nove. As análises químicas foram efetuadas nas amostras integrais, apenas para 7 amostras de um total de 14 (Quadro 3) por questões orçamentais. Os motivos da escolha destas sete amostras e não outras amostras

estão relacionados com o facto de se pretender homogeneidade a nível posicional, tanto geográfico como estratigráfico.

Quadro 3. As amostras submetidas a análises químicas.

Amostra	Código Laboratorial
A2	9418NM
A4	9420NM
A6	9422NM
A7	9423NM
A8	9424NM
A10	9426NM
A14	9430NM

O procedimento para as análises químicas requereu uma preparação prévia que consistiu nos seguintes passos: as amostras foram previamente secas a 110 °C, moídas e crivadas no peneiro de 75 µm. De seguida, as amostras (< 75 µm) foram calcinadas durante 60 minutos a 1050 °C para obter a P.R. e fundidas a 1150 °C, com o objetivo de obter uma “pérola”, utilizando para tal um forno de fusão *Perl’X3* da *Panalytical*. Foi calculada para cada amostra, a respetiva perda ao rubro (PR), que se traduz perda de massa da amostra por calcinação (a 1050 °C) durante 1 hora.

Para as análises por fluorescência de raios-X das “pérolas”, o aparelho utilizado foi um espectrómetro sequencial (*Panalytical* – PW 2404) equipado com uma ampola de ródio (4 kW), em vácuo. Os resultados analíticos são expressos sob a forma de SiO₂, Al₂O₃, CaO, MgO, Fe₂O₃ (ferro total=Fe₂O₃+FeO), TiO₂, MnO, K₂O, Na₂O e P₂O₅ (Quadro 10). No caso de as concentrações serem inferiores aos limites de deteção, os resultados vêm expressos com o símbolo “<” antes desse valor de deteção.

3.3.4. MEDIÇÃO DE PH

O pH das argilas comuns é uma grandeza que apresenta um espectro variável, já que os valores mais usuais estão entre 4 e 6 (Oliveira, 2010). Estes valores são influenciados pela natureza química dos minerais argilosos presentes na suspensão, mas também pela presença de impurezas, como por exemplo os carbonatos e a matéria orgânica (Murray, 1986). A determinação do pH revela-se de extrema importância, uma vez que influencia o ponto de desfloculação numa suspensão argilosa.

O pH das amostras foi determinado pelo método dos eléctrodos seletivos, de acordo com o procedimento interno do Laboratório, baseado na norma LNEC E 203 (1967). Para tal, foi utilizado um medidor *Sentron* 2001 pH System, calibrado à temperatura de 20 °C, com soluções padrão. Para cada

medição foram utilizados 20 g de amostra, moída a 60 *mesh* (250 μm), posteriormente misturada com 50 ml de água desmineralizada ($\text{pH} \approx 7$).

Foram efetuadas duas medições de pH para todas as amostras, em solução aquosa, realizadas ao fim de 1 e 15 minutos, dando assim tempo de o pH estabilizar.

3.3.5. ANÁLISE TÉRMICA DIFERENCIAL E PONDERAL

A principal finalidade destes métodos é o estudo da natureza dos constituintes minerais dos materiais ensaiados, em função das transformações mineralógicas decorrentes do seu aquecimento. Este é um método laboratorial que, complementa a análise mineralógica, sendo extremamente útil na detecção de materiais fracamente cristalinos ou não cristalinos, e também de matéria orgânica (Gomes, 1988).

A análise térmica diferencial (ATD) é um método através do qual se observa a quantidade de calor absorvida e libertada, resultado das reações de desidratação, de recristalização e oxidação-redução que ocorrem nos materiais ensaiados, em função da temperatura (Gomes, 1983). Este método baseia-se na quantificação da energia necessária, de modo a repor o diferencial de temperatura entre a amostra analisada e a amostra padrão.

A análise térmica gravimétrica (ATG) revela as variações de peso que ocorrem durante o tratamento térmico, variações que são consequência da decomposição ou oxidação dos componentes.

Os resultados desta análise são expressos num gráfico onde figuram as duas curvas, obtidas simultaneamente. A primeira, a curva ATD, expressa as mudanças de energia em função da temperatura. A segunda, a curva dTG (*derivate thermogravimetry*) corresponde à primeira derivada em ordem à temperatura (relativa à curva ATD). Esta curva auxilia na identificação precisa das temperaturas de início e fim de cada reação (endo ou exotérmica), assim como os pontos de inflexão da curva ATD.

Para a execução desta análise, foi seguido o procedimento interno do Laboratório, baseado nas normas DIN 51007 (1994) e DIN 51006 (1990). Os ensaios foram realizados numa termobalança *Shimadzu* DTG-50 (*Simultaneous DTA-TG*), com sistema de controlo de temperatura *Shimadzu* TA-50 WSI. A taxa de aquecimento foi de 10 $^{\circ}\text{C}/\text{minuto}$ até à temperatura 1100 $^{\circ}\text{C}$, em atmosfera oxidante, usando a alumina (Al_2O_3) como material de referência. Os termopares utilizados foram de Platina – Ródio (com 10 % de Pt), e as curvas de calibração do aparelho foram efetuados com sulfato de cálcio. Para o tratamento gráfico das curvas recorreu-se ao *software Informatic Analysis*. Para cada amostra foram analisadas cerca de 15 mg, reduzidas a pó, previamente crivadas a 75 μm e secas a 40 $^{\circ}\text{C}$.

Tendo em conta que as reações que envolvem as variações de massa se dão a temperaturas características, dependendo essencialmente da estrutura cristalina e composição química dos constituintes, foram utilizadas as tabelas propostas por Mackenzie (1957) e Blažek (1972) para a

interpretação e identificação dos picos endotérmicos e exotérmicos característicos de cada espécie mineral.

3.3.6. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

A caracterização tecnológica de matérias-primas é essencial, para a análise de fatores muito importantes do comportamento dos materiais durante as diferentes fases do processo de fabrico. Pretende-se com estes ensaios, classificar, seleccionar e determinar a utilização mais adequada para as diferentes matérias-primas, consoante as suas características tecnológicas.

Todas as amostras neste estudo foram alvo deste tipo de caracterização, tendo sido utilizadas amostras integrais previamente moídas a 60 *mesh* (250 μm).

3.3.6.1. PLASTICIDADE

A plasticidade traduz-se na capacidade de um material argiloso se deformar sem atingir a rotura, por ação de uma força e manter a forma sem alteração, quando essa força cessar (Gomes 1988, 2002). Por vezes o termo trabalhabilidade é usado como sinónimo de plasticidade.

Para além do teor em água, factor primordial no controlo da plasticidade das argilas, Gomes (1988) enuncia outros fatores que podem influenciar a plasticidade nas argilas, como por exemplo a sua distribuição granulométrica, a mineralogia, o hábito mineral e a carga elétrica.

Para determinar a plasticidade das argilas da região em estudo, utilizou-se o método de Atterberg (1911). Este método permite calcular o limite de liquidez (LL) e o limite de plasticidade (LP). O LL representa o teor de água numa amostra, a partir do qual ela deixa de ter comportamento fluído e passa ao estado plástico, por seu lado, o LP representa teor de água a partir do qual o material deixa de ser moldável e passa ao estado semi-sólido.

Através da determinação destes dois parâmetros, foi possível o cálculo do Índice de Plasticidade (IP) para cada amostra. Este índice (Fig. 9) foi calculado através da diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade ($IP = LL - LP$). Assim, a relação entre o teor de água e o comportamento plástico duma amostra, pode ser expresso em percentagem através do Índice de Plasticidade.

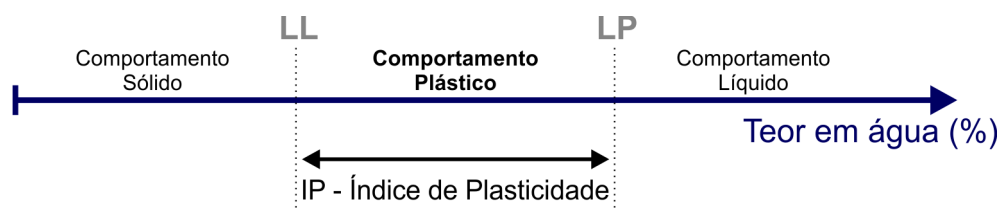


Figura 9. Representação esquemática dos limites de Atterberg e dos estados de comportamento, em função do teor de água dos materiais (Adaptado de: Faria, 2005 in Martins, 2007).

As determinações destes limites são um pouco empíricas, no entanto, foram seguidos os procedimentos sugerido na Norma Portuguesa NP 143 (1969).

O LL foi calculado com recurso à Concha de Casagrande, enquanto o LP foi determinado de modo manual. Através da percentagem de água da pasta argilosa, para a qual esta se fende, quando se tenta moldar um filamento cilíndrico ($\varnothing = 3 \text{ mm}$) sob os dedos. Todas as amostras foram previamente crivadas no peneiro de 60 *mesh* (250 μm) antes de serem submetidas a estes ensaios.

3.3.6.2. TRATAMENTOS TÉRMICOS

A principal finalidade de proceder a tratamentos térmicos nos provetes é a avaliação de certos parâmetros (porosidade e absorção de H_2O , as retrações lineares e as resistências mecânicas à flexão), tendo em conta a temperatura a que os provetes foram sujeitos. Deste modo, é assim possível a comparação entre os valores dos parâmetros obtidos a diferentes temperaturas.

Para a execução dos tratamentos térmicos utilizou-se um forno da marca *Fornocerâmica KS63*, com atmosfera oxidante. As curvas de aquecimento utilizadas nos tratamentos térmicos a que as amostras foram sujeitas estão registadas no quadro 4. Estas curvas de aquecimento assim como as temperaturas de queima foram escolhidas tendo em conta as utilizadas a nível industrial na área em estudo.

Quadro 4. Sequências de aquecimentos com patamares definidos para as diferentes temperaturas de cozedura

Patamares (°C)	Sequência 1 (850 °C)	Sequência 2 (950 °C)	Sequência 3 (1050 °C)
P.T.N. – 60	6 minutos	6 minutos	6 minutos
60-110	10 minutos	10 minutos	10 minutos
110-580	120 minutos	120 minutos	120 minutos
580-850	180 minutos	-	-
850	15 minutos	-	-
580-950	-	180 minutos	-
950	-	15 minutos	-
950-1050	-	-	255 minutos
1050	-	-	15 minutos

Os dois primeiros patamares de temperaturas (60 e 110 °C) servem para dar tempo suficiente para a água livre ser expulsa sem ocorrer o colapso estrutural dos provetes. Já o incremento das temperaturas até aos 580 °C, durante cerca de 120 minutos visa também evitar deformações excessivas nos provetes, já que a inversão do quartzo possui um efeito expansivo.

3.3.6.3. RETRAÇÃO VERDE-SECO, SECO-COZIDO E TOTAL

A retração linear verde-seco é um fator importante a controlar nos processos cerâmicos, pois no decurso de secagem das peças, após conformação, existem variações volumétricas em consequência do reajuste das partículas, sendo assim necessário o controlo dimensional da peça, garantindo a qualidade do produto para as fases seguintes do processo cerâmico.

A retração seco-cozido e a retração total, parâmetros avaliados nos provetes sujeitos a cozeduras a três temperaturas diferentes, permitem avaliar a retração linear sofrida pelos provetes, quando sujeitos a uma cozedura em forno. Assim, de modo idêntico à retração verde-seco, serve também para quantificar as variações volumétricas das peças cerâmicas. Como os provetes foram sujeitos a cozeduras, esta informação permite não só a otimização das temperaturas do forno, mas também inferir quais as dimensões do molde, de modo a que a peça saia com as dimensões desejadas.

As retrações (*s.l.*), são parâmetros que dependem essencialmente do teor em argilas das pastas cerâmicas, da humidade da pasta, da velocidade de secagem, do tempo de cozedura, do gradiente térmico, da distribuição granulométrica e da compactação da pasta na extrusora, aquando da conformação dos provetes.

A avaliação da retração linear verde-seco foi baseada na norma ASTM C 326/82 e no procedimento analítico interno do laboratório (PA104/RMIN).

Para cada amostra foram extrudidos 10 provetes, onde em cada um foram feitas duas marcas, espaçadas 10 cm uma da outra, registando-se a massa dos provetes (l_0). De seguida colocaram-se numa estufa a cerca de 40 a 50 °C durante 24 h, seguido de mais 48 h à temperatura ambiente. Registou-se novamente a massa dos provetes (l_1).

Para o cálculo da retração verde-seco (Ret_{VS}) em percentagem, utilizou-se a seguinte expressão:

$$Ret_{VS} = \frac{l_0 - l_1}{l_0} \times 100$$

Onde,

l_0 é comprimento antes da secagem em cm e l_1 o comprimento após secagem (cm)

Os mesmos provetes utilizados anteriormente foram submetidos a cozedura às temperaturas programadas (850, 950 e 1050 °C). Findo esse tempo, e depois de arrefecidas à temperatura ambiente, registaram-se novamente os comprimentos entre as marcas feitas nos provetes.

Para o cálculo da retração seco-cozido (Ret_{sc}) e da retração total (Ret_{tot}), em valores percentuais para as diferentes temperaturas de cozedura, usaram-se as seguintes expressões:

$$Ret_{sc} = \frac{l_1 - l_2}{l_1} \times 100 \qquad Ret_{tot} = Ret_{vs} + Ret_{sc}$$

Onde,

l_1 é comprimento após secagem em cm e l_2 é o comprimento após cozedura (cm)

3.3.6.4. RESISTÊNCIA MECÂNICA À FLEXÃO

A importância da estimação deste parâmetro prende-se com a necessidade de conhecer o comportamento das peças cerâmicas, relativamente às forças sofridas durante as diferentes fases de fabrico.

Trata-se também de um parâmetro essencial na avaliação da qualidade final dos produtos, tendo em conta, especialmente, o facto da maioria das cerâmicas da região produzir cerâmica estrutural (tijolo). Permite também a otimização das temperaturas de cozedura e do gradiente térmico do forno, aspeto particularmente importante do ponto de vista industrial, na medida que tem influência direta nos custos energéticos.

A resistência mecânica à flexão (RMF) foi determinada em provetes crus e provetes sujeitos a diferentes tratamentos térmicos (850, 950 e 1050 °C), de secção quadrangular.

A RMF corresponde à força necessária para provocar a rotura dos provetes sendo influenciada por vários fatores, como a distribuição dimensional do grão das amostras e da sua composição mineralógica.

Os ensaios foram realizados num tensómetro (Zwick Z010), onde foram colocados os provetes, em dois suportes distanciados 10 cm um do outro. A carga foi aplicada a meio do provete e a igual distância dos suportes, com uma taxa de incremento de 2 N/min até o provete atingir a rotura. Estes procedimentos foram baseados no procedimento interno do Laboratório assente na norma ASTM C 674/89.

A quantificação da RMF, expressa em unidades S.I. (kg/cm^2), foi determinada através da seguinte equação:

$$RMF = \frac{3 \times F \times l}{(B + b) \times h^2}$$

Onde,

F – Carga à qual se deu a rotura no provete (kg);

l – distância entre as cunhas de apoio longitudinal;

B – base maior da secção de rotura;

b – base menor da secção de rotura;

h – espessura junto à secção onde se deu a rotura

3.3.6.5. CAPACIDADE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

A determinação da absorção de água tem como principal objetivo a avaliação do grau de porosidade dos provetes, após tratamento térmico. O grau de porosidade depende essencialmente da distribuição dimensional do grão e da composição mineralógica. A porosidade pode ser avaliada através da percentagem de absorção de água pelo provete, após saturação por imersão em água.

A capacidade de absorção de água foi calculada para as três temperaturas de cozedura (850, 950 e 1050 °C). Para cada uma das temperaturas, foram usados três provetes por amostra, previamente secos em estufa (110 °C) até atingirem massa constante. Depois de arrefecidos à temperatura ambiente, pesaram-se os provetes (m_{SEC}) e de seguida foram submersos em água desmineralizada em ebulição durante duas horas. Posteriormente, os provetes foram retirados de água, enxutos em toalha ligeiramente húmida de modo a retirar a água superficial, registando-se novamente a massa dos provetes (m_{SAT}). Para a determinação da capacidade de absorção de água foi seguida a Especificação do LNEC E 216 (1968). Assim, a capacidade de absorção de água (Abs) em percentagem de peso, traduz-se pela seguinte expressão:

$$Abs = \frac{m_{sat} - m_{sec}}{m_{sec}} \times 100$$

Onde,

m_{sat} é a massa do provete saturado e m_{sec} a massa do provete seco.

CAPÍTULO 4. CARACTERIZAÇÃO E CARTOGRAFIA DAS ÁREAS POTENCIAIS EM ARGILAS COMUNS

4.1. DESCRIÇÃO DAS SEQUÊNCIAS SEDIMENTARES

Os trabalhos de campo desenvolvidos constituem a parte essencial do estudo realizado. Estes trabalhos visaram a cartografia das camadas ou ritmos argilosos e a respetiva caracterização. A caracterização foi efetuada maioritariamente nas frentes de exploração de barreiros, dado que estes constituem exposições privilegiadas que permitem efetuar o enquadramento dos ritmos argilosos nas sequências sedimentares.

Por razões de planeamento dos trabalhos de campo a desenvolver, estabeleceram-se quatro zonas geográficas (Fig. 10) com maior potencial em argilas comuns: Outeiro da Cabeça, A-dos-Cunhados, Adão Lobo e Casalinho. A definição destas zonas teve como base o reconhecimento geológico preliminar já abordado. (Cap. III – 3.2.1.). O reconhecimento geológico detalhado efetuado nestas 4 zonas, cobriu uma área aproximadamente de 80 km², abrangendo os depósitos das formações de Lourinhã e Serreira.

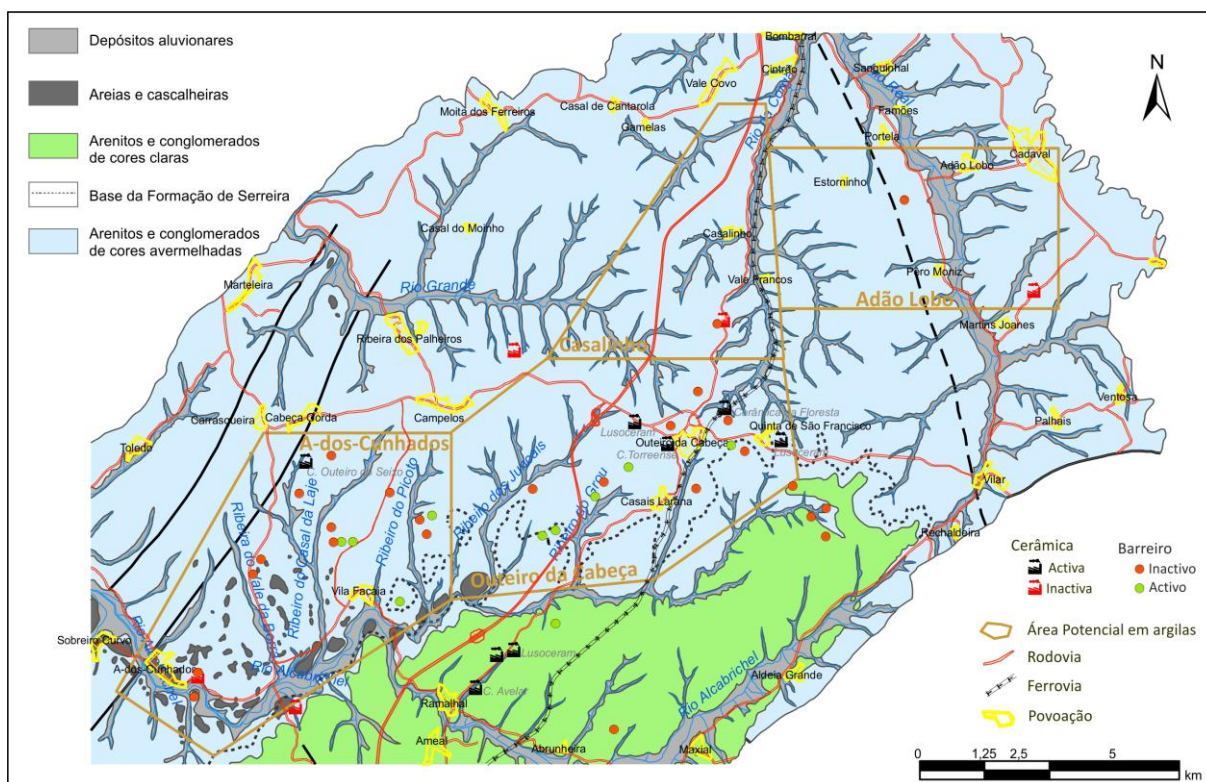


Figura 10. Área de trabalho com representação das quatro zonas de maior potencial em recursos argilosos, das unidades industriais cerâmicas e dos locais com atividade extrativa.

Consequentemente, os trabalhos de campo possibilitaram a definição de áreas de maior potencialidade em recursos argilosos, tanto superficiais como sub-superficiais, *i.e.*, recursos argilosos que tenham a tecto, “formações geológicas” sem interesse económico e de espessuras inferiores a \pm 10 m. Doravante, estas regiões serão denominadas “sectores”, podendo ser considerados como

áreas potenciais, e conforme se poderá constatar, correspondem a áreas onde foi possível verificar continuidade dos corpos argilosos estudados, tanto lateral como verticalmente.

No decurso dos trabalhos de campo, foram recolhidos dados relativos às possíveis direções das paleocorrentes, efetuados com base na observação das obliquidades das estratificações presentes nos flancos dos paleocanais. Apesar do número de medições estar longe de ser representativo, regista-se aqui, quando possível, uma referência a essas direções prováveis.

Os principais resultados dos trabalhos de campo estão descritos neste capítulo e sintetizados no *Mapa Litológico e de Recursos Argilosos*, pelo que a sua leitura deverá ser acompanhada com o auxílio do referido mapa presente no anexo 3.

4.1.1. ZONA DE OUTEIRO DA CABEÇA

A zona de Outeiro da Cabeça, com cerca de 25 km², aparenta ser aquela que apresenta maior potencial em recursos argilosos, aspecto este corroborado pela existência da maioria das unidades de fabrico de cerâmica de construção.

Nesta zona, devido à sua extensão e tendo em conta os ritmos argilosos nela observados, optou-se pela descrição separada em três blocos:

- 1) O sector central da área de Outeiro da Cabeça, onde estão os barreiros explorados pela Lusoceram e pela Cerâmica Avelar (Outeiro do Barro). Esta zona é limitada a nascente pela estrada que liga Casais Larana e Outeiro da Cabeça ao Bombarral, e de grosso modo é limitada a poente pela autoestrada (AE-8);
- 2) Contíguo à zona atrás descrita fica o sector ocidental, localizado na envolvente do Ribeiro dos Juncais e do Ribeiro do Grou. Nesta zona localizam-se os barreiros da Cerâmica Torreense e da Sorgila;
- 3) O terceiro sector (oriental) da região do Outeiro da Cabeça situa-se na envolvente da Quinta de São Francisco, onde se encontra localizado o barreiro da Cerâmica da Floresta. Estes dois últimos sectores, além da Formação de Lourinhã, são abrangidos também pela Formação de Serreira.

4.1.1.1. SECTOR CENTRAL

A sucessão-tipo para a zona central caracteriza-se pela ocorrência de dois níveis argilosos principais, separados por um nível arenítico. É no barreiro da Lusoceram (Fig. 11) onde se consegue obter a melhor visualização da sucessão sedimentar, pois nos outros níveis cartografados na área envolvente, apenas é possível a observação de pequenos afloramentos descontínuos.



Figura 11. Representação de uma das frentes de exploração do barreiro da Lusoceram.

Para a construção de uma coluna litológica tipo (Fig. 12) representativa desta zona, visto que a observação da sucessão sedimentar o permite, foram tidas em conta as 15 sondagens (referidas na metodologia) de reconhecimento geológico de níveis argilosos atualmente já explorados, associadas à observação e descrição das diversas frentes desta unidade extrativa. Assim, tem-se do topo para a base:

- **(A)** Depósitos superficiais e aluvionares pouco espessos (espessura 1 a 6 m);
- **(B)** Nível areno-siltoso de coloração geralmente esbranquiçada, por vezes apresentando-se avermelhada, possuindo intercalações de elementos conglomeráticos arredondados; as estruturas sedimentares de estratificação entrecruzada são bem marcadas, com presença de figuras de canal (Fig. 13); a sua espessura é variável, mas o valor médio rondará os 5 m;
- **(C)** Nível silto-argiloso, por vezes micáceo, apresentando geralmente cor-de-vinho e esporadicamente laivos cinzentos a brancos. Ocasionalmente apresenta intercalações arenosas (< 2 m). Possui uma espessura variável, entre 7 e 10 m;
- **(D)** Nível arenítico de cor avermelhada, e esbranquiçada na base, frequentemente grosseiro, com seixos rolados, possui por vezes pequenas intercalações silto-argilosas avermelhadas. São visíveis estruturas sedimentares de estratificação entrecruzada e tabular. A espessura destes corpos é variável, mas geralmente não excede 10 m;
- **(E)** nível silto-argiloso, com características texturais aparentes próximas do primeiro, mas geralmente mais compacto e com níveis de argilas carbonatadas de cor cinzenta, por vezes arroxeadas. A espessura máxima observada para este nível é próxima dos 10 m.

- Na base da sucessão observada (Fig. 14), tem-se uma sequência de corpos predominantemente grosseiros, por vezes conglomeráticos, exibindo intercalações silto-argilosas. Este conjunto por vezes apresenta pontuações betuminosas.

Neste barreiro, mediram-se paleocorrentes com direção de N30°W a N60°W.

Segundo informações do responsável técnico desta exploração, nesta unidade são explorados apenas os níveis **C** e **E**, sendo que as argilas do primeiro nível são as que têm melhor aptidão cerâmica, comparativamente ao nível inferior que, frequentemente exibe compactidade elevada, e ocorrência argilas cinzentas carbonatadas, que são rejeitadas. A compactidade e a presença destas argilas cinzentas são considerados fatores penalizantes, pois têm impactos nos custos da extração da matéria-prima.

Neste barreiro foram recolhidas duas amostras, a A3 e a A4, correspondentes ao nível superior e nível inferior, respetivamente.

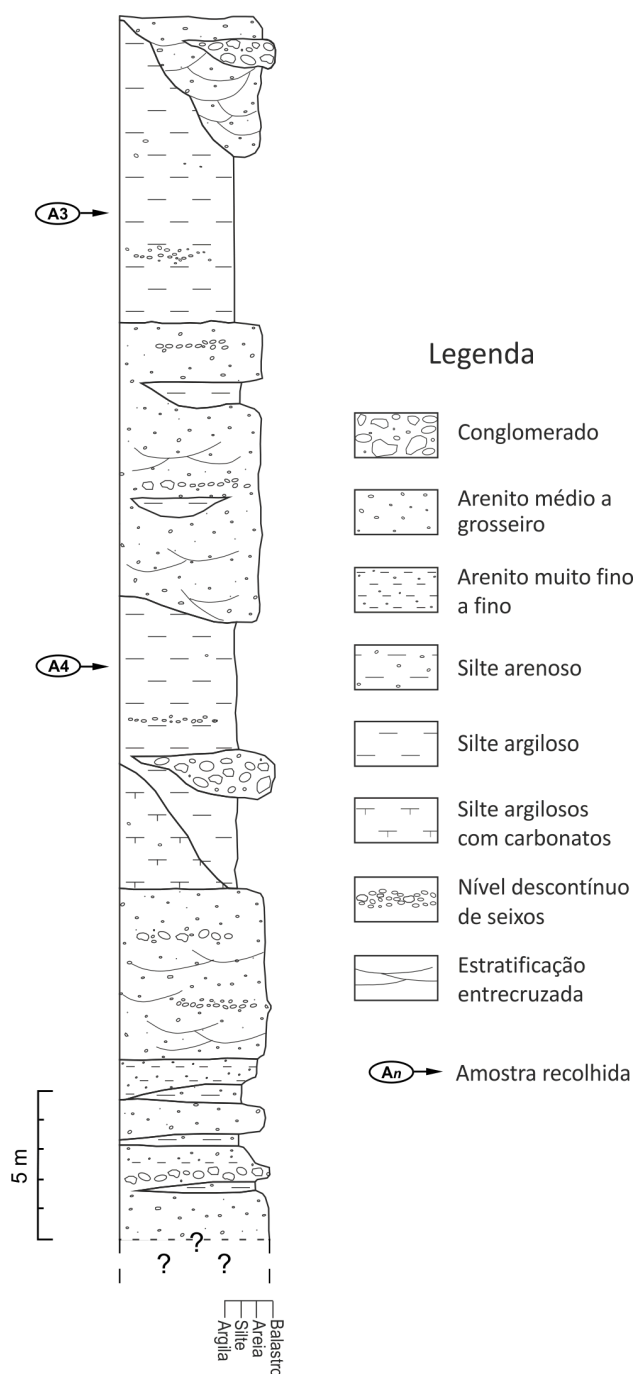


Figura 12: Coluna litológica tipo (I) para o barreiro explorado pela Lusoceram (M:108237; P:247173).



Figura 13. Paleocanal numa das paredes do barreiro da Lusoceram. Orientação da frente de exploração: N20°E.

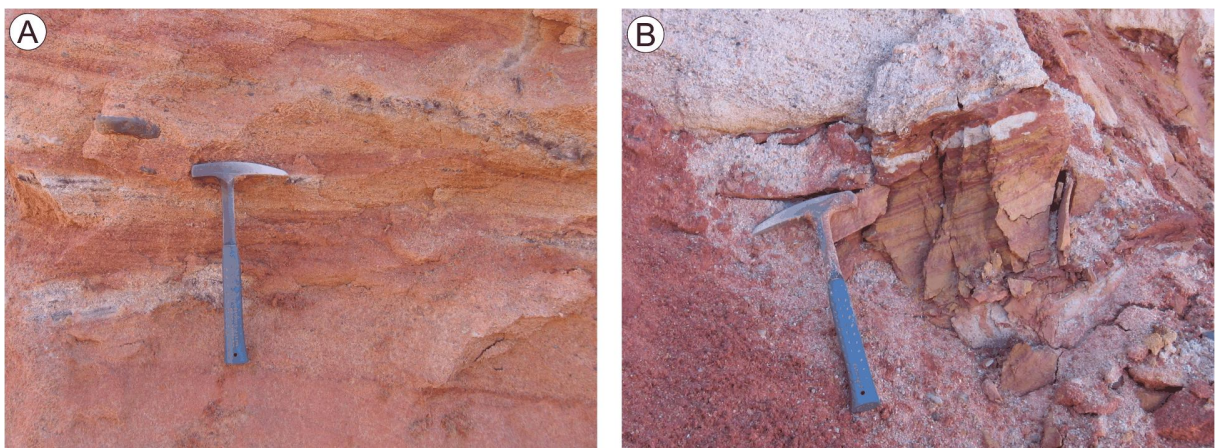


Figura 14. Detalhes da base da sucessão observada para a zona da barreiro da Lusoceram.

A – Pormenor dos elementos conglomeráticos e dos níveis descontínuos de matéria orgânica.

B – Pormenor das intercalações areníticas e silto-argilosas.

Ainda no sector central, um pouco mais a sul (cerca de 750 m), encontra-se um dos barreiros da Cerâmica Avelar, de nome “Outeiro do Barro” (Fig. 15). Os níveis aqui explorados aparentam ser os mesmos da Lusoceram, anteriormente descritos. Diz-se que poderão ser os mesmos níveis, porque aparentam estar na mesma posição estratigráfica. Não obstante, é também possível, devido às condições particulares de deposição, características de um ambiente fluvial meandriforme com presença de canais anastomosados, que os níveis sejam descontínuos mas espacialmente próximos.



Figura 15. Exploração Outeiro do Barro com exposição do nível produtivo inferior, e do arenito intermédio a teto.

Trata-se de uma exploração recente, com apenas dois anos. A exploração é feita com desenvolvimento em flanco de encosta, expondo assim a sucessão sedimentar (Fig. 16) que em seguida se descreve do topo para a base:

A - Depósitos superficiais e aluvionares com espessuras na ordem de 1 a 2 m;

B - Nível arenítico de espessura variável (2 a 4 m), com textura média a grosseira, exibindo frequentemente estratificação entrecruzada em ventre e planar de baixo ângulo, e mais raramente estratificação tabular. Este nível caracteriza-se também por apresentar a topo uma matriz argilosa avermelhada, enquanto esta na base se apresenta de coloração cinzenta clara;

C - Nível superior silto-argiloso (espessura 3 a 5 m), micáceo e de cor vermelha escura, por vezes com laivos cinzentos. Aparenta conter uma barra arenítica pouco espessa (<1m) intercalada, mas devido à escorrência dos materiais superiores não se revela evidente;

D - Nível arenítico de espessura variável (em média 3 m), de grão médio a fino, com níveis laminares argilosos intercalados de espessura inferior a 0,2 m. Este nível, à semelhança do nível B, caracteriza-se também por apresentar a teto, matriz argilosa avermelhada, enquanto a muro a matriz apresenta cores acinzentadas. Exibe pontuações betuminosas na base (Fig. 17-B);

E - Nível inferior silto-argiloso de cor vermelha escura, com espessura aproximada de 10 m. Aparentemente possui características homogêneas, apresentando intercalada, uma barra de areia média a grossa (espessura 0 a 2 m), com figuras de estratificação entrecruzada de baixo ângulo, apresentando cores esbranquiçadas no topo e avermelhadas na base, onde se observa também um nível descontínuo de seixos rolados quartzíticos.

Neste barreiro, foi também possível a medição de diversas direções de paleocorrentes, variando entre N25°E a N70°E.

De acordo com informações do responsável técnico desta empresa, o principal nível produtivo deste barreiro é o inferior, apesar da qualidade idêntica dos dois níveis (**C** e **E**), mas tal diferenciação prende-se com a sua maior espessura. Segundo as mesmas informações, o nível arenítico que separa os corpos argilosos não é utilizado para lotear as matérias-primas, pois possui pouca matriz argilosa e é texturalmente pouco grosseiro (Fig. 17-A). Neste barreiro foram recolhidas duas amostras, a A5 e a A6, correspondentes ao nível superior e nível inferior, respetivamente.

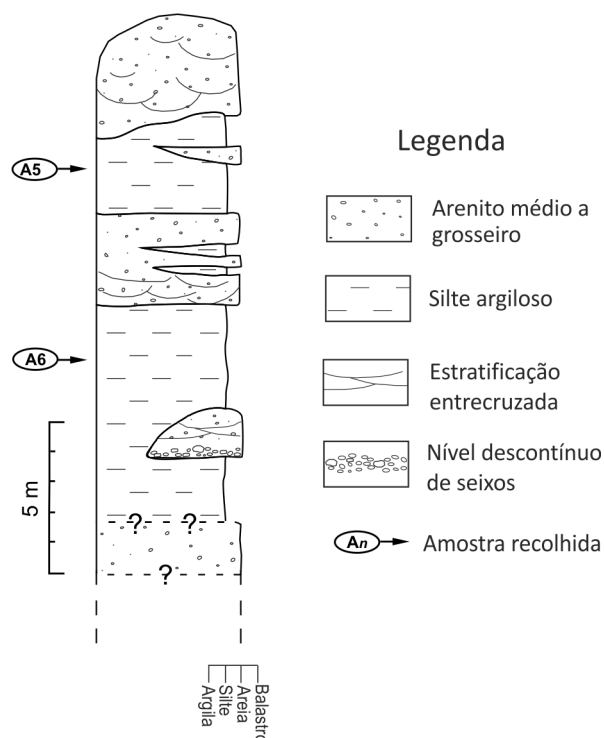


Figura 16: Coluna litológica tipo (II) para a sequência sedimentar observada no barreiro Outeiro do Barro (M:107713; P:246577).

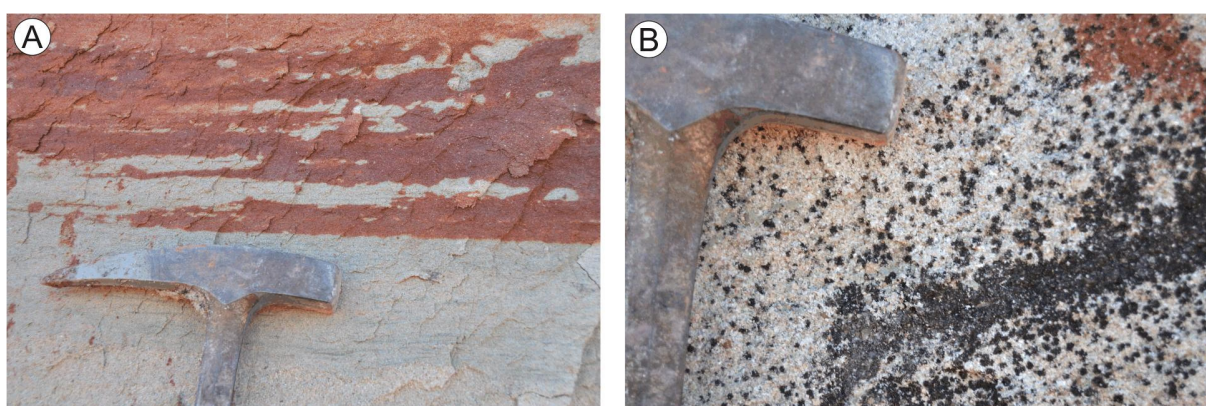


Figura 17. Alguns detalhes do barreiro Outeiro do Barro, propriedade da Cerâmica Avelar.

A – Pormenor das variações granulométricas e cromáticas no arenito intermédio.

B – Pormenor das pontuações betuminosas na base do mesmo arenito.

Assim como no barreiro da Lusoceram, o nível silto-argiloso superior aparenta ser de espessura mais variável do que o nível inferior, pelo facto do topo do nível superior ser marcado por

uma superfície erosiva, com ondulações, permitindo assim por variação das espessuras dos níveis areníticos, a variabilidade das espessuras de argilas exploráveis.

Para a zona potencial de Outeiro da Cabeça foi realizado um corte geológico (Fig. 18), com o principal objetivo de facilitar a compreensão da estrutura e disposição dos corpos argilosos. A localização deste perfil está indicada no Mapa Final. Este perfil atravessa tanto os barreiros analisados como outros níveis argilosos cartografados fora destas unidades extrativas.

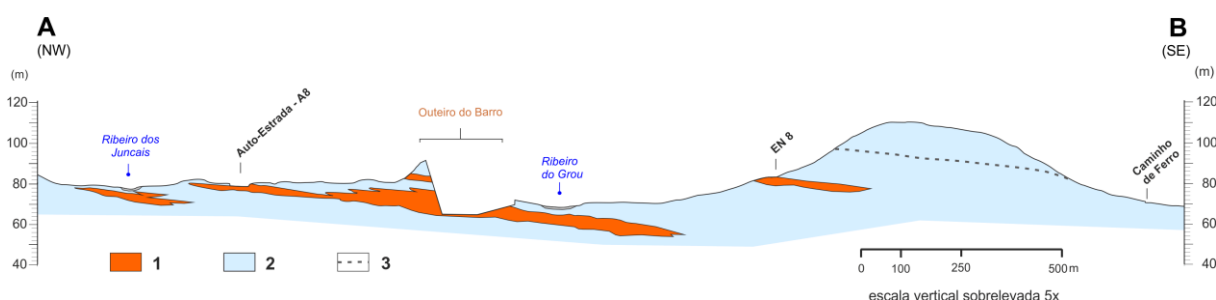


Figura 18. Perfil geológico A-B (NW-SE) efetuado para o sector central da zona de Outeiro da Cabeça.

- 1 – Corpos argilosos maciços possíveis de cartografar.
- 2 – Arenitos, conglomerados e argilas, maioritariamente avermelhados.
- 3 – Base cartográfica da Formação de Serreira.

4.1.1.2. SECTOR OCIDENTAL

Já fora do sector central de Outeiro da Cabeça, localizado junto à AE8 e sensivelmente a 2 km a sudoeste dos barreiros anteriormente descritos, entre o Ribeiro dos Juncas e do Ribeiro do Grou, encontra-se o sector ocidental do Outeiro da Cabeça. Nesta zona existem duas unidades extrativas ativas, pertencentes à Cerâmica Torreense (Fig. 19) e à Sorgila (Fig. 22). Estas duas unidades são quase contíguas, encontrando-se a explorar os mesmos níveis argilosos, pelo que se optou pela integração das duas colunas litológicas, dando assim lugar a uma coluna tipo do local (Fig. 21). Ambos os barreiros exploram ritmos argilosos na interface da Formação de Lourinhã e a Formação de Serreira, mas maioritariamente nesta última, segundo a folha 30-B da carta geológica à escala 1:50.000.

No barreiro da Cerâmica Torreense, registada com o nome “Quinta da Bogalheira n.º 2” existem dois níveis argilosos sujeitos a exploração. A topo do nível produtivo superior observa-se um nível arenítico (A) muito grosseiro, com espessura máxima de 4 m, frequentemente apresentando zonas conglomeráticas. A muro, o nível argiloso (B) superior (espessura \pm 8 m) exibe uma coloração vermelha escura, apresentando alguma mica. Dentro deste nível argiloso ocorre uma barra arenítica intercalada com espessura variável entre 0 a 6 m. À data da colheita das amostras, não foi possível distinguir se apenas se tratava de uma barra intercalada no seio do nível argiloso, sendo possível que fosse um nível arenítico a separar dois níveis argilosos. Este facto levou a uma colheita de amostras em duplicado para este nível argiloso, isto é, uma amostra (A7) recolhida acima da barra intercalar e outra amostra (A8) recolhida abaixo da mesma barra.

A separar os níveis produtivos, existe um nível arenítico (C) predominantemente grosseiro, de cor maioritariamente esbranquiçada, com cerca de 8 m de espessura máxima. Este nível apresenta estratificação entrecruzada de baixo ângulo e tabular.

O nível argiloso inferior (D) difere do superior por apresentar finas laminações de areia (Fig. 20), além de possuir com maior frequência zonas argilosas de tons cinzentos. Apresenta também uma maior compacidade relativamente ao nível superior. Apesar de não se ter observado com clareza a base deste segundo nível argiloso, ele não aparenta ter mais de 8 a 10 m de espessura. Neste barreiro foram recolhidas três amostras: A7 e A8 já referidas, e amostra A13 recolhida no nível inferior.



Figura 19. Barreiro da Cerâmica Torreense “Quinta da Bogalheira n.º2”, junto à AE8. No nível argiloso B é possível a observação da barra arenítica intercalar. Possível Formação de Serreira (?).



Figura 20. Intercalações areníticas em corpo argiloso. Pormenor de figura de acreção com estrutura entrecruzada (leitos de areia cinzentos).

Relativamente ao barreiro explorado pela Sorgila, contíguo ao barreiro anteriormente descrito, os níveis argilosos aqui explorados são os mesmos que na Quinta da Bogalheira N.º 2. No entanto, e devido à ampla janela de observação da sucessão sedimentar foi possível verificar que existem pequenas variações laterais dum barreiro para o outro. Estas variações traduzem-se no ligeiro biselamento do nível arenítico que separa os níveis argilosos (superior e inferior) e que no barreiro da Cerâmica Torreense é de espessura bastante constante caracterizando-se também por uma menor espessura do nível produtivo superior. Outra variabilidade possível de vislumbrar é a ocorrência na zona sudoeste deste barreiro de argilas cuja coloração é cinzenta escura, talvez devido à presença de matéria orgânica. Nesse local procedeu-se à recolha da amostra A12.

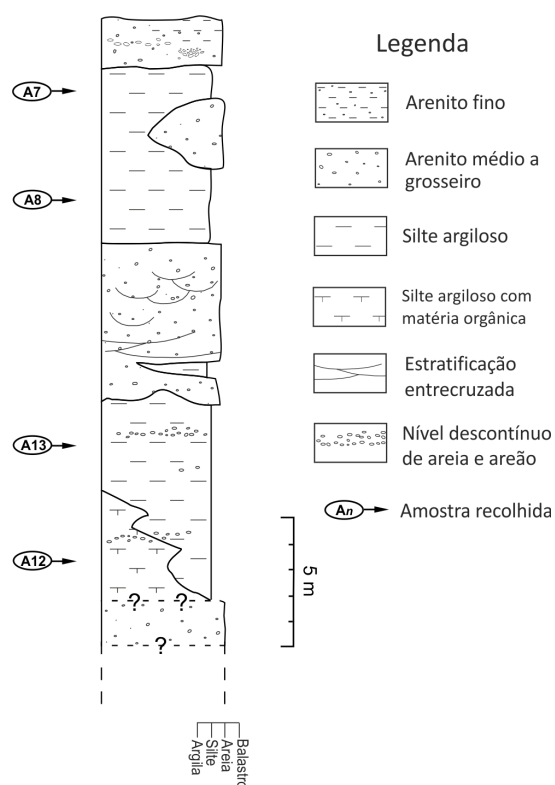


Figura 21: Coluna litológica tipo (III) para as explorações da Cerâmica Torreense e da Sorgila, localizadas no sector ocidental da zona de Outeiro da Cabeça (M:106811; P:245763).

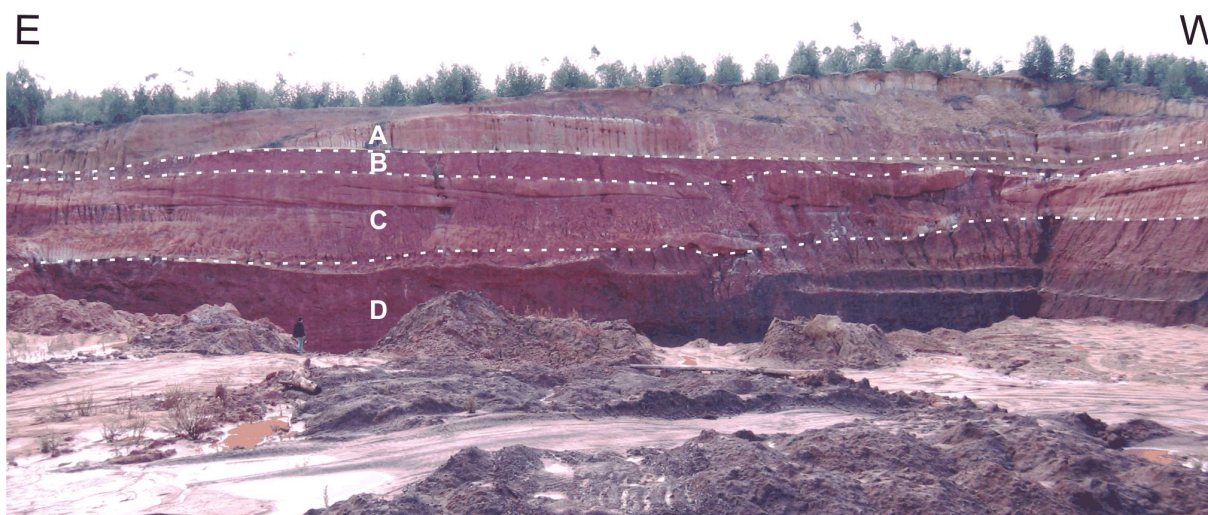


Figura 22. Barreiro da Sorgila, junto à AE8. Formação de Serreira (?). Na base do nível argiloso inferior (D) ocorrem zonas cinzentas-escuras, provavelmente ricas em matéria orgânica.

Na análise conjunta destes dois barreiros é possível afirmar que o nível inferior é o que apresenta melhores características para a exploração, pois possui maiores espessuras e revela maior homogeneidade, traduzida pela quase inexistência de intercalações arenosas, pese embora as suas variações cromáticas, que poderão sugerir diferentes características tecnológicas.

Nestas duas unidades de extração, as paleocorrentes exibem direções entre N0°E a N20°E.

4.1.1.3. SECTOR ORIENTAL

Ainda na zona de Outeiro da Cabeça, localizada entre a povoação com este nome e a Quinta de São Francisco, foi delimitado o sector oriental que corresponde basicamente aos níveis argilosos observados no barreiro explorado pela Cerâmica da Floresta (Fig. 23), mais o nível aflorante numa pequena unidade de extração (Fig. 25) abandonada situada a 500 m a norte da anteriormente citada, assim como os afloramentos na zona envolvente a estas duas.



Figura 23. Ilustração do barreiro “Quinta da Floresta”.

O barreiro explorado pela Cerâmica da Floresta, à semelhança dos barreiros descritos no sector ocidental de Outeiro da Cabeça, explora ritmos argilosos na interface das formações de Lourinhã/Serreira, não sendo perceptível a passagem do Jurássico para o Cretácico.

A sucessão sedimentar neste barreiro foi difícil de observar devido à escorrência dos materiais de níveis superiores, no entanto, apresenta-se aqui a descrição possível, do topo para a base (na figura 24 a sequência descrita para o barreiro está localizada abaixo da lacuna de observação):

A - Nível arenítico (espessura ± 3 m) de granulometria média a grosseira, heterométrico, com estratificação entrecruzada. Exibe geralmente cor avermelhada, no entanto apresenta-se de cor esbranquiçada na base;

B - Nível silto-argiloso com cor de vinho, (espessura ± 1 m);

C - Nível arenítico de textura média a grossa e de cor esbranquiçada (espessura ± 4 m), com estratificação entrecruzada e tabular, e por vezes com granotriagem. Este nível arenítico apresenta sensivelmente a meio, um pequeno nível argiloso (espessura < 1 m) intercalado, que bisela para oeste acabando por desaparecer;

D - Nível silto-argiloso superior, de tonalidades cor-de-vinho (3 a 4 m). É possível que este nível bisele e acabe por desaparecer para oeste, mas devido às dificuldades de observação não se pode concluir tal facto;

E - Nível arenítico, (espessura variável, geralmente inferior a 2 m), de cores esbranquiçadas a cinzentas. São características figuras de estratificação horizontal e presença de níveis descontínuos de seixos quartzíticos intercalados;

F - Nível argiloso inferior, de características idênticas ao superior. A espessura deste nível é indeterminada por lacuna de observação da base, no entanto é possível afirmar que é superior a 4 m. Possui intercalada uma barra arenítica, descontínua (< 1 m).

Neste barreiro foram recolhidas amostras do nível superior (A10) e do nível inferior (A9). As direções de paleocorrentes medidas variam entre N10°E a N50°E.

No topo da elevação, por cima do barreiro da Cerâmica da Floresta, observou-se num pequeno desmorte para pesquisa (Fig. 25), um nível argiloso de coloração vermelha escura, por vezes com laivos cinzentos. Neste nível foi colhida a amostra A11, com o objetivo de discernir possíveis diferenças nas características dos níveis jurássicos e cretácicos. Pois segundo critérios cartográficos (Zbyszewski, 1966), este último nível argiloso está nitidamente inserido na Formação de Serreira. Esta parcela da sucessão sedimentar está representada na coluna litológica tipo para esta zona, tendo uma lacuna de observação de ± 15 m.

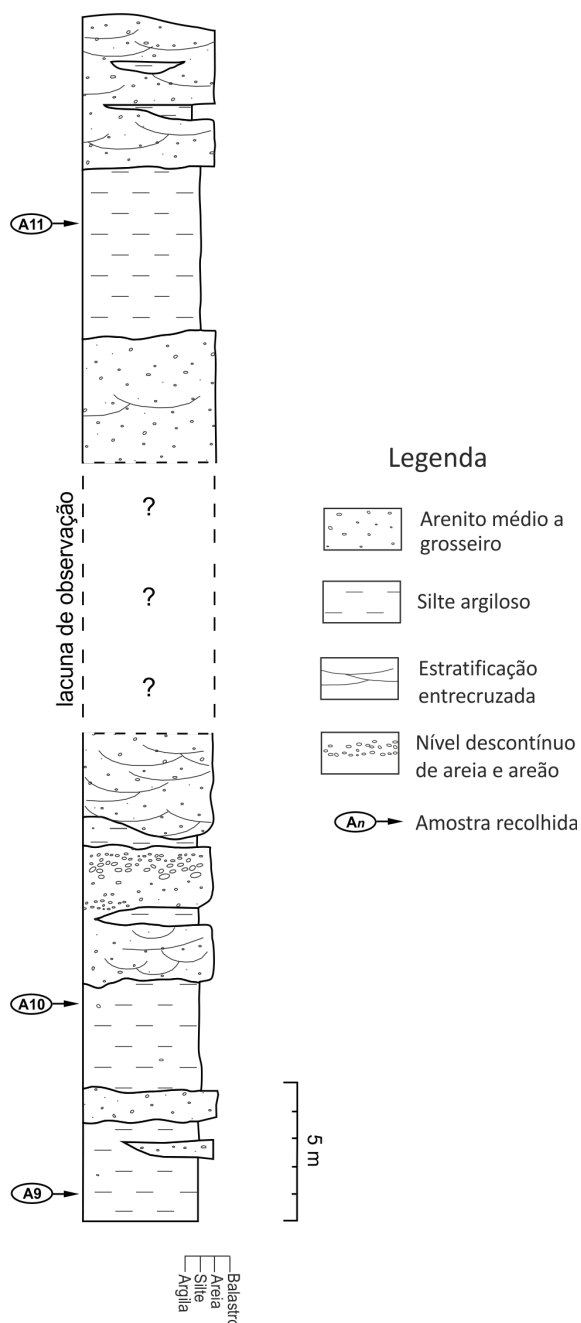


Figura 24: Coluna litológica tipo (IV) relativa ao barreiro da Cerâmica da Floresta mais uma pequena porção observada no topo da elevação, com lacuna de observação (M:110446; P:247440).

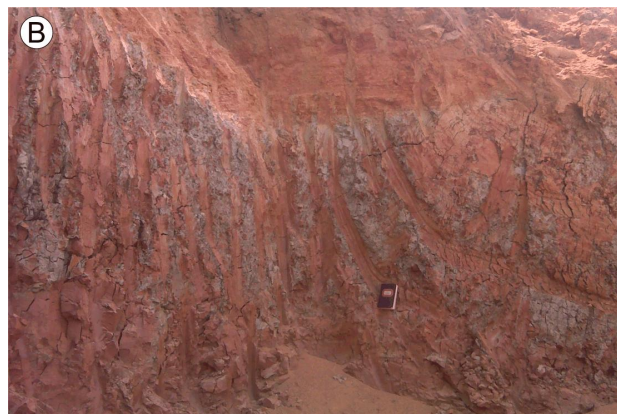


Figura 25. Desmorte para pesquisa no topo da elevação (v.g. Outeiro da Cabeça) por cima do barreiro principal da Cerâmica da Floresta.

A - Pormenor do arenito de matriz argilosa branca que está na base do nível argiloso cartografado

B - Pormenor da argila cor de vinho com laivos acinzentados topo do nível argiloso. A amostra A11 foi recolhida neste nível.

Ainda nesta zona, mas um pouco mais a norte do barreiro da Cerâmica da Floresta e junto à linha de caminho-de-ferro observou-se um nível argiloso (espessura visível de 6 m) a muro de um nível arenítico grosseiro com laminação entrecruzada, que foi objeto de exploração num barreiro atualmente abandonado. O corpo argiloso em questão possui frequentemente intercalações carbonatadas, muito duras, o que deverá ter inviabilizado a continuidade da extração.

4.1.2. ZONA DE A-DOS-CUNHADOS

A zona de trabalho de A-dos-Cunhados tem cerca de 25 km² e nela foram delimitados três sectores onde o potencial em argilas comuns é mais elevado:

- 1) O sector sudoeste, localizado a leste da povoação de A-dos-Cunhados, mais precisamente nas margens do Rio Alcabrichel. Neste sector existia uma cerâmica abandonada (Cerâmica da Barreira) que foi demolida durante os trabalhos de campo, contígua ao barreiro que a alimentava;
- 2) O sector central situado na região do Ribeiro do Casal da Lage, onde existem diversos barreiros abandonados e apenas um ativo, assim como alguns afloramentos passíveis de cartografia;
- 3) E o sector oriental, que fica localizado a leste do v.g. Alto dos Campelos, junto à Ribeira do Picoto. Neste último sector está localizada uma unidade de extração de argilas.

4.1.2.1. SECTOR SUDOESTE

Na área correspondente a este sector foram assinalados afloramentos argilosos no mapa, com base na consulta de 3 sondagens (Fig. 26) de captação de água. Tendo em conta a impossibilidade de observação *in situ* destes níveis, a representação em mapa foi feita por extrapolação da sua posição altimétrica.

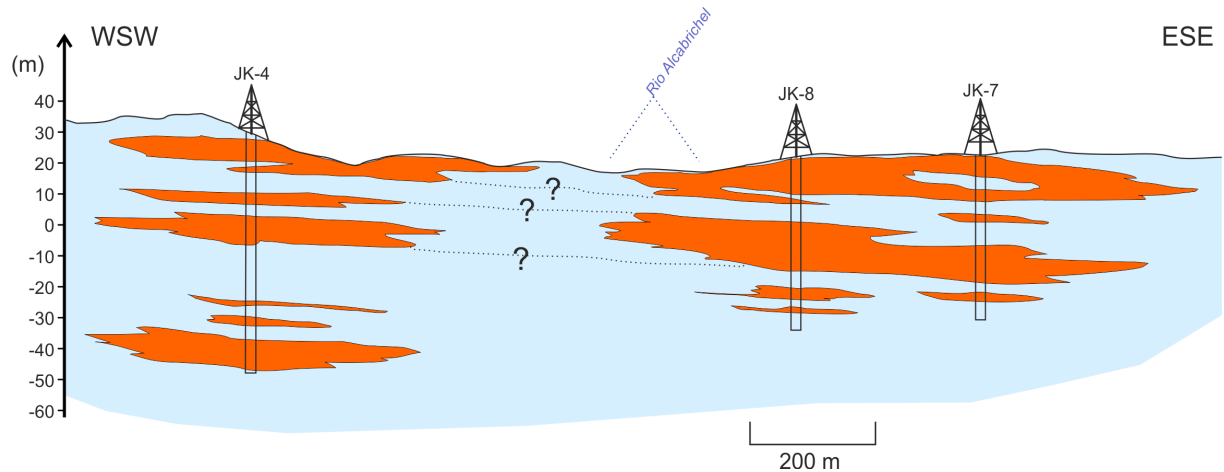


Figura 26. Corte interpretativo do modelo dos corpos argilosos intercetados nas sondagens

4.1.2.2. SECTOR CENTRAL

Na área de A-dos-Cunhados, mais concretamente no sector central, a sucessão de corpos sedimentares possível de descrever (Fig. 29), caracteriza-se pela ocorrência de dois níveis silto-argilosos principais com características distintas: o superior (Fig. 27), com cerca de 5 a 7 m de espessura, sobreconsolidado, de cor castanha-avermelhada e possuindo intercalações silto-arenosas de tons cinza, e o nível inferior (Fig. 28), de cor avermelhada apresentando variação lateral para tons cinzentos. Este nível inferior, de espessura indeterminada por lacuna de observação da sua base, tem pelo menos 6 m de espessura. A separação entre os dois corpos argilosos atrás descritos é feita por um nível predominantemente arenoso, por vezes conglomerático, possuindo por vezes, pequenas intercalações silto-argilosas.



Figura 27. Fotografia exibindo o topo e a base do nível argiloso superior do sector central da zona do Outeiro do Seixo.



Figura 28. Fotografia de um dos barreiros do sector central da zona do Outeiro do Seixo com a ilustração do topo do nível argiloso inferior. É possível também a percepção de um nível intercalar argiloso no seio do arenito intermédio e o biselamento do nível arenítico.

Legenda

- Arenito médio a grosseiro
- Silte arenoso
- Silte argiloso
- Silte argiloso com carbonatos
- Argila
- Estratificação entrecruzada
- Nível descontínuo areão e seixos
- Amostra recolhida

5 m

A1

A2

Argila
Silte
Areia
Balastro

Figura 29. Coluna litológica tipo (V) da sucessão sedimentar observada nos barreiros do sector central da zona de Outeiro do Seixo (M:102883; P:245625).

44

4.1.2.3. SECTOR ORIENTAL

O sector oriental é uma das áreas potenciais delimitada na zona de A-dos-Cunhados. Situa-se perto do v.g. Alto dos Campelos, na margem esquerda da Ribeiro do Picoto. Nesta região os afloramentos são escassos, no entanto foi possível visualizar um possante nível de argila no barreiro denominado Outeiro do Picoto (Fig. 31). O nível produtivo, apresenta-se com uma espessura visível de 8 a 10 m, exibindo tonalidades cor-de-vinho mais próximas do topo, enquanto na base, as argilas se tornam muito compactas e cinzentas. O nível produtivo possui finas laminações arenosas intercaladas.

Cerca de 300 m a sul deste barreiro, foi possível observar um talude que pôs em evidência o mesmo nível argiloso, mas com frequentes intercalações carbonatadas compactas, à semelhança do exposto para a zona norte da Cerâmica da Floresta.

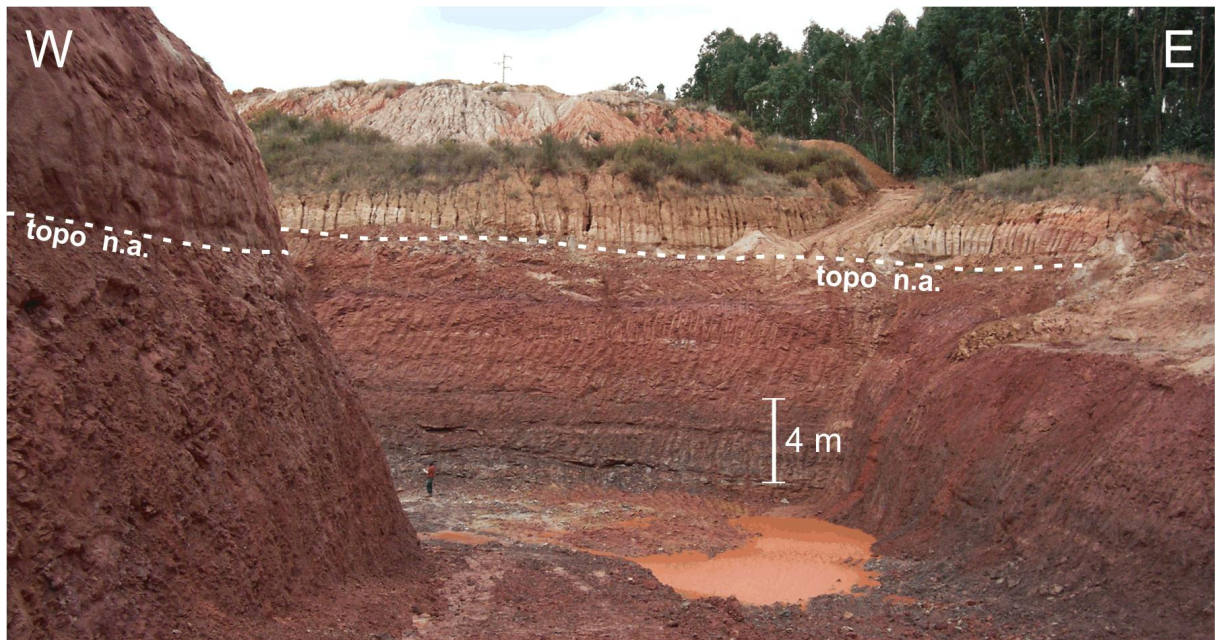


Figura 31. Nível argiloso (n.a.) explorado no barreiro “Outeiro do Picoto” da Cerâmica Avelar.

4.1.2.4. OUTROS LOCAIS

Na área de A-dos-Cunhados foram ainda cartografados outros ritmos argilosos, que não foram englobados em nenhuma das áreas potenciais atrás descritas, principalmente pela fraca continuidade lateral dos corpos argilosos. Um destes exemplos é o barreiro abandonado (Fig. 32) situado entre a Ribeira do Vale da Borra e o Ribeiro do Casal da Laje.



Figura 32. Fotografia do barreiro abandonado. Representação do topo do nível argiloso.

Do topo para a base, a sucessão sedimentar aqui observada (Fig. 33) caracteriza-se por apresentar um nível arenítico de grão médio a grosseiro, heterométrico, geralmente de matriz argilosa esbranquiçada, possuindo figuras de estratificação entrecruzada de baixo ângulo, por vezes tabular. Ocorrem níveis descontínuos de areão intercalados. Dentro deste corpo arenítico existe um nível silto argiloso (< 1 m) de cores maioritariamente cinzentas, mas por vezes exibe tons ocre e violeta. Este nível tem abundante lenhite e preenche um paleocanal. Após o nível arenítico, apresenta-se um nível argiloso com espessura superior a 9 m, onde não foi possível observar a sua base. As argilas deste nível são cor-de-vinho e apresentam uma barra lenticular arenítica de espessura inferior a 2 m. As características texturais e cromáticas do nível arenítico a topo, levam a supor que este constitua um afloramento isolado pertencente à Formação de Vale de Lobos, do Grupo de Torres Vedras.

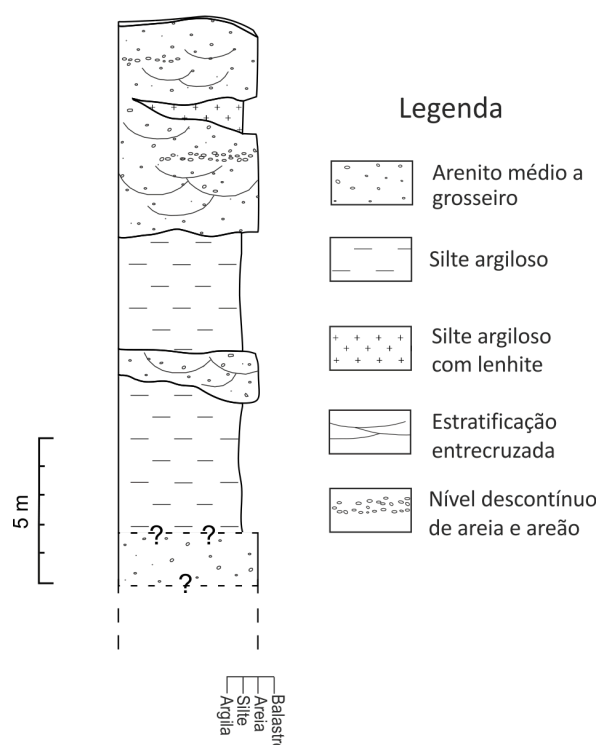
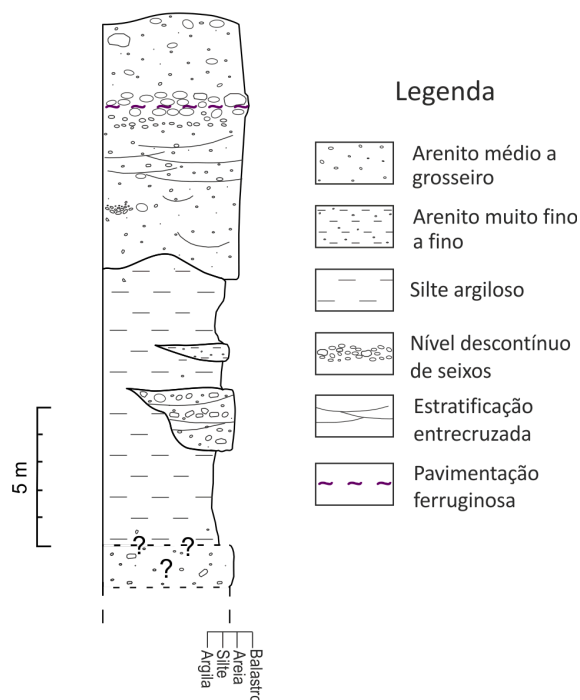


Figura 33. Coluna litológica tipo (VI) da sequência observada neste barreiro abandonado (M:101306; P:245329).

Outro dos exemplos de níveis argilosos (Fig. 34) cartografados e que não foram englobados em áreas potenciais, por manifesta ausência de continuidade lateral, é o barreiro denominado de Valeira, pois está inserido numa mancha cartográfica circunscrita da Formação de Serreira. Este barreiro explora um corpo argiloso que se caracteriza por apresentar cores castanhas a cor-de-vinho e presença de moscovite. Este nível argiloso exibe uma particular variação lateral em termos granulométricos, pois alterna entre uma aparência ora mais siltosa ora mais argilosa. São também características deste corpo argiloso, intercalações de arenitos roxos a avermelhados, geralmente com espessuras inferiores a 1 m. Existe também intercalada uma barra arenítica grosseira, heterométrica, de matriz levemente avermelhada, com frequentes seixos sub-rolados a angulosos, sendo uma característica peculiar a sua extrema dureza.



4.1.3. ZONA DE ADÃO LOBO

Na zona de Adão Lobo, com cerca de 17 km² os afloramentos são escassos e de dimensões reduzidas. Nesta área existe apenas uma antiga exploração, onde se observa um corpo argiloso (espessura média de 15 m segundo informação local) e onde foi recolhida a amostra A14. Na parte aflorante do que ainda resta desse nível, verifica-se que aquele é constituído por siltes argilosos cor-de-vinho, abundantemente moscovíticos, possuindo algumas intercalações métricas de argila cinzenta, mais plástica. Existem também intercalações de arenitos finos cinzentos (Fig. 36-A), muito micáceos e de espessura inferior a 1 m. Sobre o nível produtivo assenta um corpo arenítico, por vezes com bolsadas (Fig. 36-B) de argila e com estruturas sedimentares entrecruzadas planares e em ventre de baixo ângulo. Para este barreiro foi efetuada uma coluna litológica tipo que consta da figura 35.

O nível aflorante não possui continuidade lateral nem para sul, nem para norte do barreiro, apenas para oeste. Ainda assim, foram observados outros níveis argilosos nesta zona, geralmente em taludes de estradas, sem continuidade com o nível argiloso referido. Relativamente aos sentidos das paleocorrentes, neste barreiro foi possível a recolha de direções, que rondam os N30°W a N80°W.

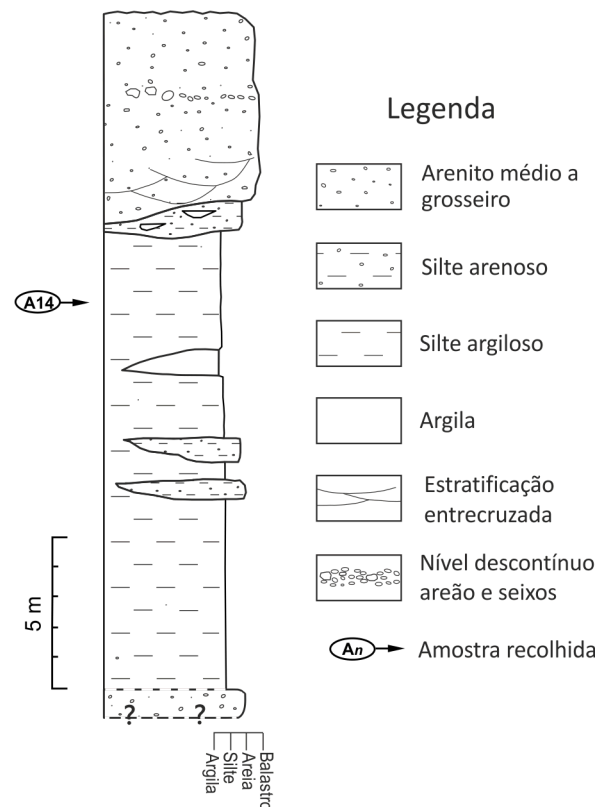


Figura 35. Coluna litológica tipo (VIII) da sucessão sedimentar observada no barreiro de Adão Lobo. (M:113681; P:252219)

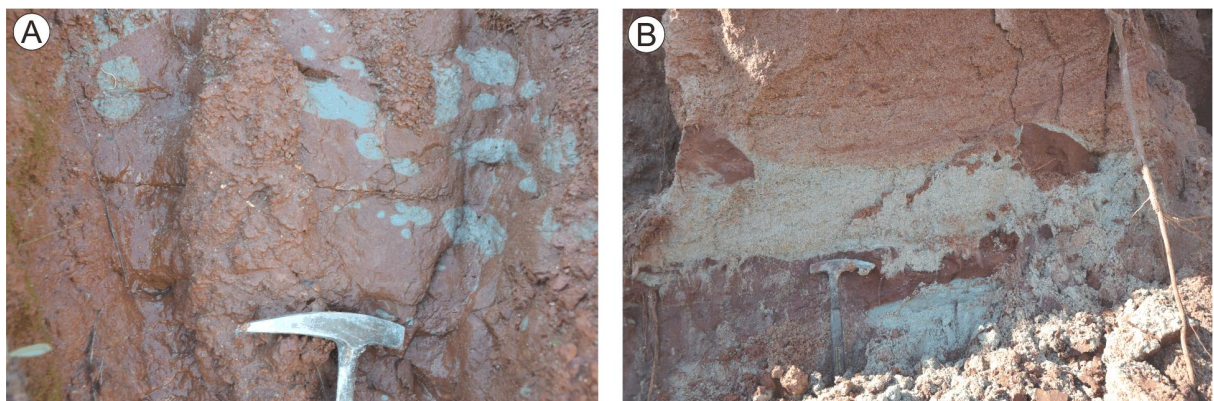


Figura 36. Pormenores no barreiro da zona de Adão Lobo.

- A – Intercalações silto-arenosas cinzentas no seio do nível produtivo.
- B – Intraclastos argilosos (remobilizados) no seio do corpo arenítico.

4.1.4. ZONA DE CASALINHO

Outra das zonas delimitadas com base na potencialidade em argilas comuns é a zona de Casalinho, cuja área representa cerca de 13 km². Nesta zona foram delimitados três sectores de influência onde foi possível a cartografia de ritmos argilosos com relativa continuidade lateral. Dois destes sectores foram delimitados essencialmente pela observação de taludes de escavação da AE8, que atravessa longitudinalmente toda a zona entre os nós do Bombarral e Campelos, locais privilegiados para a observação das sucessões sedimentares. Já o terceiro sector, localizado entre o v.g. Vale de Francos e a povoação com o mesmo nome, foi delimitado tendo em conta a observação de um barreiro abandonado assim como os afloramentos envolventes. No barreiro apenas foi possível a observação de uma pequena parte da sucessão sedimentar, *i.e.* o topo de um nível argiloso (Fig. 37-B), cor de vinho, micáceo, contactando erosivamente com nível arenítico grosseiro a topo, desconhecendo-se assim as suas possanças.

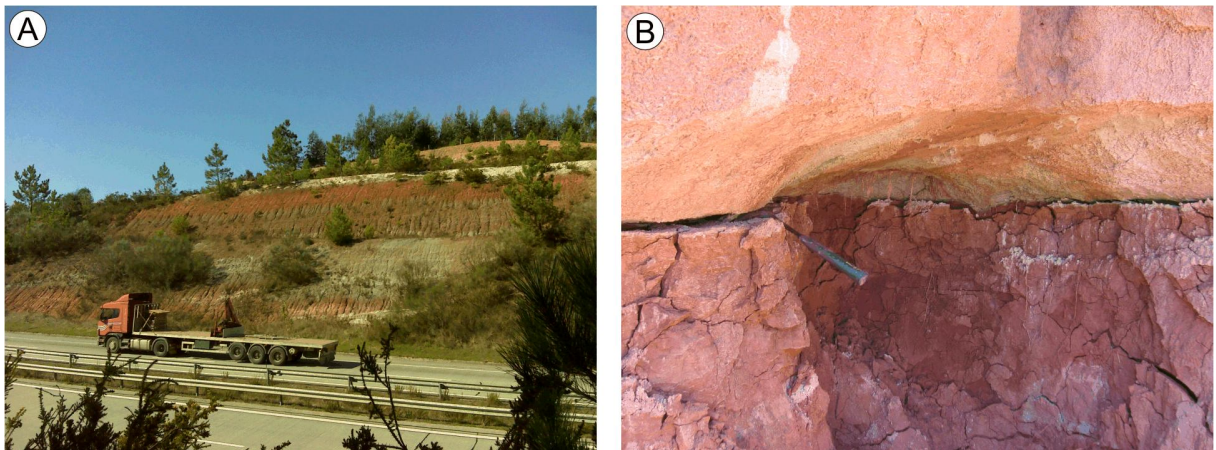


Figura 37. Representação de alguns aspetos observados na zona de Casalinho.

- A – Fotografia de um talude da AE8 exibindo um nível argiloso, confinado por níveis areníticos. É também possível observar uma intercalação de argilas cinzentas;
- B – Topo do nível argiloso e contacto erosivo com nível arenítico observado no único barreiro (inativo) existente nesta área.

Para o sector mais a norte da zona de Casalinho foi efetuada uma coluna litológica com base na observação de diversos afloramentos e dos taludes da AE8, sendo a sua descrição do topo para a base:

O corpo argiloso ocorrente nos taludes da AE8 está representado no topo da coluna litológica da figura 38, tendo uma espessura aproximada de 10 m. Este nível apresenta geralmente tons laranja a avermelhados, por vezes com intercalações métricas de argilas cinzentas muito plásticas (Fig. 37-A). Ocasionalmente este nível apresenta intercalações decimétricas de siltes arenosos.

A muro do nível argiloso, observa-se nível arenítico (± 10 m) de grão médio a grosseiro, por vezes com presença de seixos e exibindo estratificação entrecruzada de baixo ângulo. Este nível apresenta em geral cores avermelhadas e esbranquiçadas. Imediatamente abaixo, observam-se dois níveis argilosos de espessuras aproximadas de 3 a 4 metros, exibindo geralmente cores avermelhadas, apresentando intercaladamente o que aparenta ser uma barra arenítica (< 3 m).

Na base desta sucessão, encontra-se um nível arenítico (> 6 m) de granulometria média a grosseira, com espessura indeterminada por lacuna de observação da sua base.

Apesar da exploração destes ritmos argilosos estarem comprometidos pelos perímetros de proteção às infraestruturas rodoviárias, efetuou-se igualmente a sua cartografia.

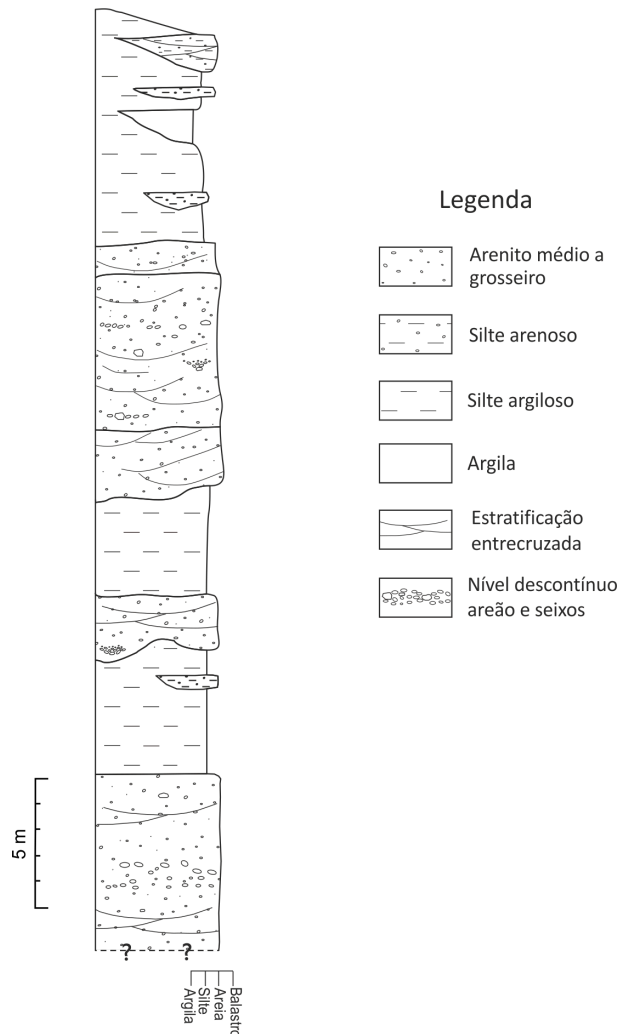


Figura 38. Coluna litológica tipo (IX) do enchimento sedimentar observado no sector mais a norte da área de Casalinho (M:110154; P:252342).

4.2. COTAS DE OCORRÊNCIA DE ARGILAS E ESTIMATIVA DE RECURSOS

No quadro 5 apresentam-se as cotas de ocorrência de argilas repartidas pelos vários sectores. Estes elementos figuram no *Mapa Litológico e de Recursos Argilosos* (Anexo 3).

Quadro 5. Cotas de ocorrência de argilas comuns.

Zona	Sector	Cotas de ocorrência (m)
Outeiro da Cabeça	Central	80 a S – 130 a N
	Ocidental	60 a S – 90 a N
	Oriental	100 a N – 180 a S
A-dos-Cunhados	Sudoeste	20 a SW – 80 a N
	Central	40 a SW – 90 a N
	Oriental	50 – 80
Adão Lobo	-	80 a NE – 120 a SW
Casalinho	-	60 – 120 a N e 80 – 110 a S

Com o objetivo de obter uma estimativa quantitativa (Quadro 6) dos recursos argilosos ocorrentes, recorreu-se a um método de cálculo expedito. Este método baseia-se nas áreas definidas como potenciais (Fig. 39 e Anexo 3), às quais se subtraiu as áreas já exploradas pelas cerâmicas.

O valor resultante desta operação algébrica foi denominado de área útil. Para a obtenção da volumetria, multiplicou-se a área útil por uma

altura (20 m), considerada a profundidade média dos barreiros. De modo a converter a volumetria dos depósitos em tonelagem, multiplicou-se esse volume por uma densidade (por defeito), considerada para argilas e areias igual a 2. Finalmente, na tentativa de apenas estimar os recursos argilosos existentes, excluindo para tal a quantidade de formações arenosas, foi considerado um facto de imprecisão de valor 0,4.

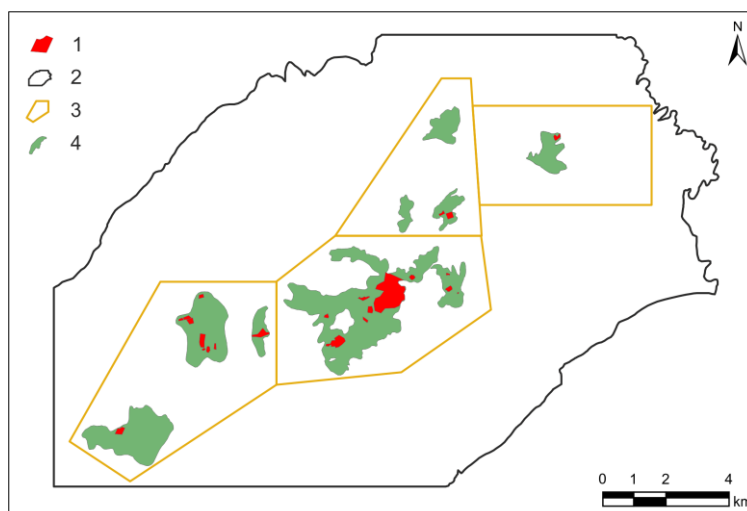


Figura 39. Ilustração das áreas potenciais e das áreas já exploradas.

1 - Áreas já exploradas; 2 - Área total;
3 - Áreas de trabalho; 4 - Áreas potenciais.

$$\text{Recursos argilosos} = [(A_P - A_E) \times h] \times \rho \times F_I$$

Em que,

A_P : área potencial; A_E : área explorada; h : altura média dos barreiros; ρ : densidade; F_I : facto de imprecisão

Quadro 6. Parâmetros utilizados para o estabelecimento da estimativa dos recursos argilosos.

Zonas	Área potencial (m ²)	Área já explorada (m ²)	Área útil (m ²)	Volumetria (m ³)	Recursos inferidos (t)
Adão Lobo	864.388	25.534	838.854	16.777.089	13.421.671
A-dos-Cunhados	5.908.265	282.314	5.625.951	112.519.028	90.015.223
Casalinho	1.692.649	48.116	1.644.533	32.890.658	26.312.526
Outeiro da Cabeça	7.840.960	1.019.924	6.821.035	136.420.709	109.136.567
Σ	16.306.262	1.375.888	14.930.374	298.607.485	238.885.988

Esta quantificação, apesar de grosseira e conservadora, pode ser vista como uma tentativa de aproximação à realidade. No entanto, é necessário ter em conta, que pela impossibilidade de cartografar todos os afloramentos argilosos, provavelmente este cálculo aqui apresentado possa pecar por defeito. No entanto, estes valores têm de ser encarados apenas como indicativos, pois nem todos estes recursos poderão ser economicamente explorados.

CAPÍTULO 5 - CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS ARGILOSAS

5.1. TEXTURA E COMPOSIÇÃO

5.1.1. CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA

As argilas são materiais geológicos que possuem granularidade fina, constituídas tanto por minerais argilosos como por minerais não argilosos. Sendo que os primeiros têm geralmente diâmetros esféricos equivalentes (d.e.e.) inferiores a 2 μm , enquanto os minerais não argilosos possuem geralmente d.e.e. superiores a 2 μm . Assim, segundo Martins (2007), de modo a uma argila ser utilizada como matéria-prima na indústria cerâmica exige a necessidade da sua caracterização granulométrica (Fig. 40). Pois a distribuição granulométrica dos elementos numa pasta cerâmica influencia fortemente critérios tecnológicos cujo controlo é determinante para a obtenção de produtos finais de qualidade (Pacheco *et al.* 2010), tornando-se assim indispensável a caracterização granulométrica das matérias-primas.

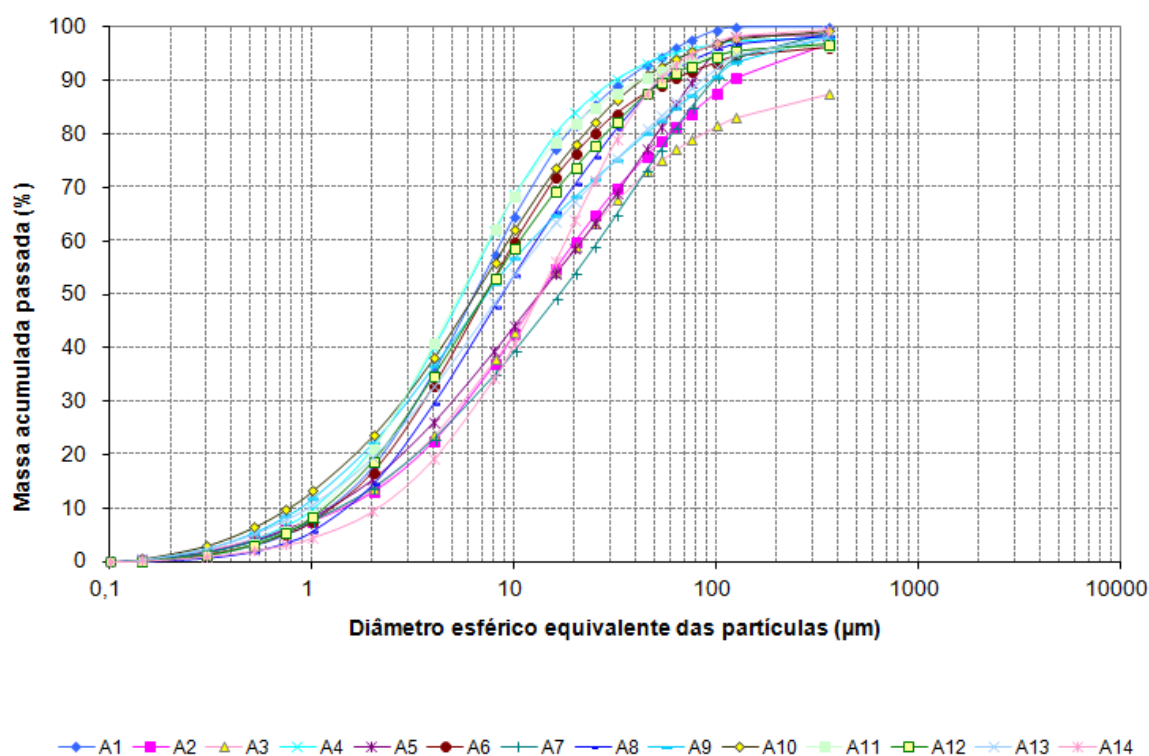


Figura 40. Curvas granulométricas cumulativas do total de amostras estudadas.

Através da análise das curvas de distribuição granulométrica cumulativa da totalidade das amostras estudadas, pode afirmar-se que a maioria das curvas revela composições medianamente

graduadas e calibração baixa, fatores evidenciados pela escassez de sectores verticalizados das curvas, manifestando tendências parabólicas. Apesar da calibração e graduação das amostras ser relativamente homogênea, é possível a distinção de dois grupos: o primeiro (Fig. 41), melhor calibrado e muito homogêneo (excetuando a amostra A14), e o segundo grupo (Fig. 42), composto por amostras mais graduadas e menos calibradas. Neste grupo, a fração $<20\mu\text{m}$ representa cerca de 54 a 67%, enquanto no primeiro grupo a participação desta fração varia entre 64 e 84%. Em ambos os grupos, a fração argila ($<2\mu\text{m}$) varia entre 10 e 23%, verificando-se que o grupo de amostras melhor calibradas tem tendência a apresentar valores maiores.

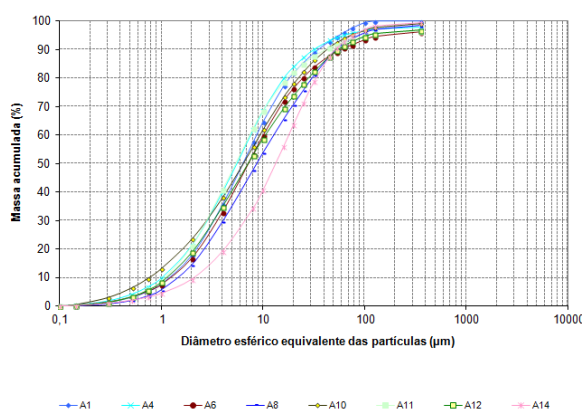


Figura 41. Agrupamento das curvas com melhor calibração.

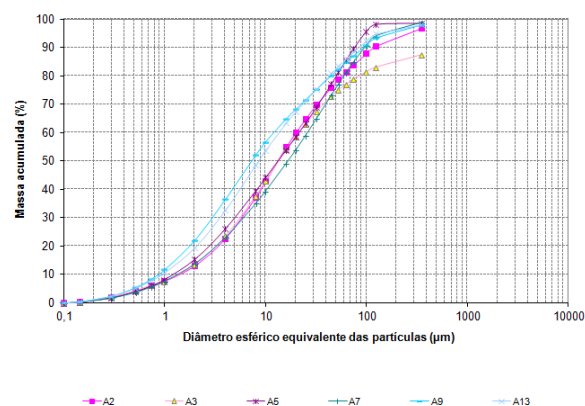


Figura 42. Agrupamento das curvas com melhor graduação e pior calibração.

As curvas granulométricas de todas as amostras mostram que a percentagem de elementos de diâmetro superior a $50\mu\text{m}$ é, em geral, inferior a 25%, exibindo as amostras um D_{50} entre 6 e $17\mu\text{m}$, significando que 50% do material tem dimensões inferiores àqueles valores. É também visível que os sectores das curvas correspondentes à fração $<1\mu\text{m}$ são pouco inclinados, na maioria das amostras, denotando boa graduação, não excedendo os 10% do total de partículas nos dois grupos.

De acordo com a classificação estabelecida por Shepard (1954) (Fig. 43), os dados da análise granulométrica indicam que as amostras têm uma distribuição relativamente homogênea, correspondente ao campo silte argiloso. Destacando-se apenas, a amostra A14 que se encontra próxima do campo silte e a amostra A3 posicionada no campo da argila silto-arenosa.

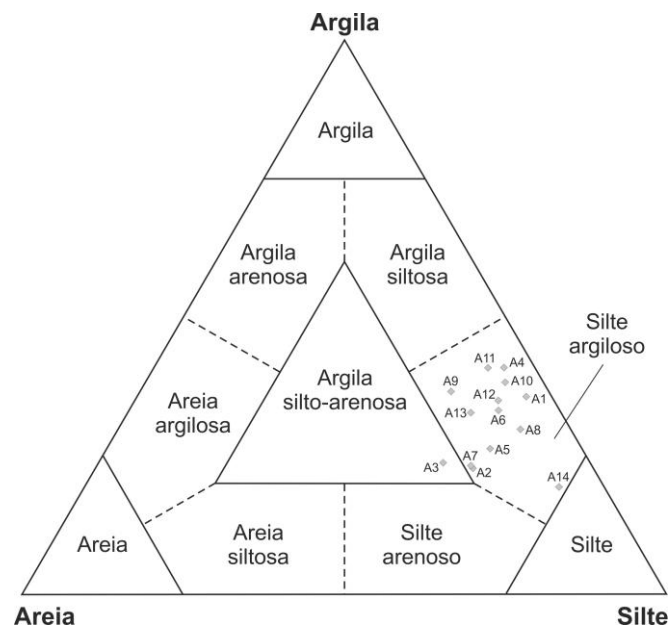


Figura 43. Diagrama ternário (Shepard, 1954) da distribuição dimensional do grão das amostras.
(vértices do triângulo - argila: $<4\ \mu\text{m}$; silte: $4\text{-}63\ \mu\text{m}$; areia: $>63\ \mu\text{m}$)

Contactos com as empresas da região revelaram que existe a necessidade de lotar as matérias-primas com cerca de 30% de areia, sendo esta utilizada para suprir a deficiência da pasta cerâmica em areia. Pois a areia funciona como desengordurante em pastas cerâmicas cujas argilas são gordas e controla ainda as variações de volume como as contrações indesejadas durante a secagem e cozedura. A areia utilizada para a lotação é extraída dos mesmos locais de onde se extrai a argila, sendo que geralmente são aproveitados os níveis areníticos que separam os diferentes níveis argilosos.

5.1.2. CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA

O conhecimento da composição mineralógica das amostras, relativamente à amostra integral e à fração <2 μm , é importante porque permite avaliar as respetivas concentrações minerais, permitindo assim inferir sobre as propriedades e o comportamento cerâmico que estas matérias-primas deverão ter durante o processo de fabrico.

A composição mineralógica semi-quantitativa obtida por DRX das amostras (Quadro 7), na generalidade e em termos médios é essencialmente constituída por proporções similares de caulinite e quartzo, com predomínio da caulinite. As amostras estudadas apresentam também, em menor quantidade, mica-ilite, em teores relativamente homogéneos ($x_{\text{médio}}=15\pm2\%$), pelo que na globalidade, correspondem a argilas caulinítico-ilíticas (Quadro 9). Relativamente a outros minerais argilosos presentes na amostra integral, foram também detetados (vestigialmente) minerais interestratificados de ilite/montmorilonite em 4 amostras.

Quadro 7. Composição mineralógica (semi-quantitativa) das amostras integrais

Amostra	Ilite/Montmorilonite (%)	Mica-ilite (%)	Caulinite (%)	Quartzo (%)	Feldspato K (%)	Minerais de Ferro (%)
A1	0	14	38	27	10	11
A2	-	15	33	29	16	7
A3	-	17	23	47	9	4
A4	-	12	41	31	4	12
A5	-	19	40	28	6	7
A6	-	14	36	33	8	9
A7	-	13	33	34	8	12
A8	0	18	29	32	11	10
A9	-	15	37	33	7	8
A10	-	15	60	15	3	7
A11	0	17	40	29	5	9
A12	0	14	27	46	6	7
A13	-	13	39	34	7	7
A14	-	20	29	38	8	5

Dos minerais não argilosos, o quartzo é aquele que se apresenta em maiores quantidades, em muitos dos casos com valores superiores aos da caulinite. O feldspato potássico está presente em todas as amostras com teores significativos ($x_{\text{médio}}=8\pm3\%$), assim como os minerais de ferro, que se apresentam em teores expressivos ($x_{\text{médio}}=8\pm2\%$).

Na composição mineralógica da fração < 2 μm (Quadro 8) existe naturalmente um enriquecimento nos minerais argilosos das amostras (Fig. 43), embora os minerais identificados sejam substancialmente os mesmos que os identificados nas amostras integrais das amostras correspondentes. Em relação aos valores das amostras integrais, verifica-se também, em cada uma das amostras, um aumento considerável de mica-ilite, numa média de 27%, fazendo com que a sua participação se aproxime dos valores revelados pela caulinite na fração < 2 μm , pelo que se deduz

que a mica-ilite se concentra preferencialmente nesta fração < 2 µm. O exposto é perfeitamente corroborado pelos valores da razão caulinite / mica-ilite obtidos nas duas frações e observáveis no quadro 9.

Quadro 8. Composição mineralógica (semi-quantitativa) da fração <2 µm

Amostra	Clorite (%)	Montmorilonite (%)	Ilite/ Montmorilonite (%)	Mica-Ilite (%)	Caulinite (%)	Quartzo (%)	Feldspato K (%)	Minerais de Ferro (%)
A1	-	-	1	39	42	11	1	6
A2	-	-	-	49	43	4	1	3
A3	-	-	1	40	47	9	vestigial	3
A4	-	-	2	41	42	10	-	5
A5	-	-	1	35	50	13	-	1
A6	-	-	1	40	42	12	-	5
A7	-	-	1	41	44	10	-	4
A8	-	-	1	41	45	10	vestigial	3
A9	-	-	1	43	49	4	1	2
A10	-	-	-	44	48	6	-	2
A11	-	-	2	46	36	10	1	5
A12	-	-	2	45	34	15	-	4
A13	-	-	1	42	47	6	1	3
A14	7	4	-	49	29	6	1	4

Além da caulinite e da mica-ilite, outros minerais argilosos foram observados, nomeadamente os interestratificados de ilite/montmorilonite que ocorrem na quase totalidade das amostras, em quantidades ínfimas e, a montmorilonite e clorite, apenas surgem na amostra A14, o que poderá indiciar condições de deposição distintas, tendo também em conta o afastamento geográfico relativo desta amostra (A14) em relação às outras.

Relativamente aos minerais não argilosos, os feldspatos estão quase ausentes nesta fração, o que leva a concluir que estes se concentram quase exclusivamente em frações superiores a 2 µm. O quartzo continua presente, embora com redução acentuada, assim como os minerais de ferro.

Quadro 9. Razão Caulinite/Ilite-mica para as diferentes frações.

Amostras	Amostra integral	Fração <2 µm
	Razão Caulinite/Ilite-mica	
A1	2,7	1,1
A2	2,2	0,9
A3	1,4	1,2
A4	3,4	1,0
A5	2,1	1,4
A6	2,6	1,1
A7	2,5	1,1
A8	1,6	1,1
A9	2,5	1,1
A10	4,0	1,1
A11	2,4	0,8
A12	1,9	0,8
A13	3,0	1,1
A14	1,5	0,6

5.1.3. INTERPRETAÇÃO DAS CURVAS DE ANÁLISE TÉRMICA DIFERENCIAL E GRAVIMÉTRICA

Através da observação das curvas ATD-ATG das amostras, verifica-se que durante o aquecimento as transformações térmicas ocorridas são relativamente homogêneas na globalidade das amostras (ver anexo 1). Em todas as curvas verifica-se uma reação endotérmica a temperaturas inferiores a 100 °C, correspondente à libertação da água higroscópica e/ou água capilar (Mackenzie, 1957), pelo facto de se tratar de água que se encontra na forma livre e fixada à superfície das partículas, estando a elas ligadas somente por efeito de tensão superficial. Este pico antecede outros até próximo dos 200 °C que dizem respeito à libertação de água zeolítica ou de absorção dos minerais argilosos do grupo da esmectite, onde moléculas de H₂O que se encontram a solvatar certos cátions localizados nos espaços intercalares ou entre camadas estruturais. A perda de massa relacionada com a libertação da água higroscópica e zeolítica varia entre 0,8% (A2) e 3,4% (amostra A8). Os efeitos endotérmicos deste fenómeno manifestam-se através de picos com maior ou menor intensidade, sendo que esta depende da composição mineralógica das amostras, i.e., quanto mais esmectite tiver maior será a intensidade dos picos verificados.

A observação de picos duplos, comuns na presença de montmorilonite (Lisboa, 2009), não é visível pela observação das curvas, possivelmente devido aos teores vestigiais deste mineral ($x_{\text{médio}}=1\%$) (Fig. 45).

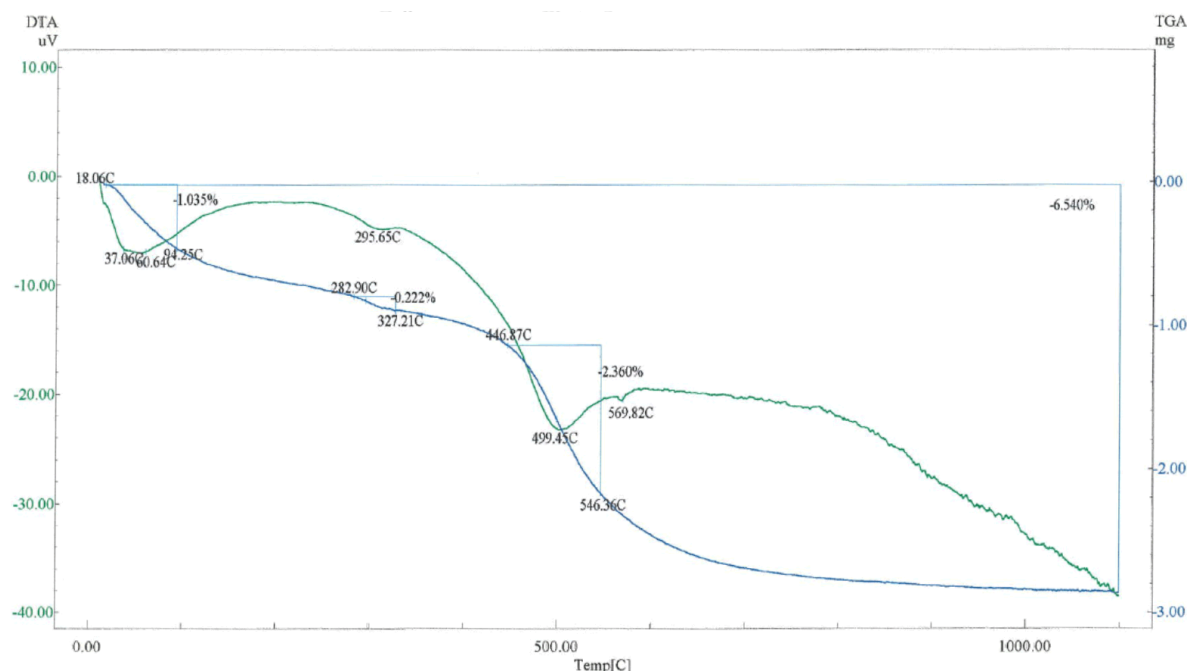


Figura 45. Curva de ATD (a verde) e curva ATG (a azul) para a amostra A5. Exibida a título representativo.

Na curva da ATG estão exibidas as temperaturas de início/fim das reações (parciais e total) e a variação. Na curva de ATD são exibidas as temperaturas dos picos das variações energéticas.

Os picos verificados no intervalo 294-311 °C traduzem reações endotérmicas que podem ser explicadas pela desidroxilação de hidróxidos de ferro (Oliveira, 2010), sendo observáveis em todos os diagramas, com maior ou menor intensidade, demonstrando assim os teores significativos de ferro nas amostras. As perdas de massa associadas a estas reações, não ultrapassaram, em regra os 0,4 %.

No intervalo dos 436 aos 559 °C decorrem reações endotérmicas, cujos picos (entre 496-508 °C) podem ser atribuídos à desidroxilação dos minerais argilosos presentes nas amostras (Mackenzie, 1957). As perdas de massa verificadas para estas reações variam entre um máximo de 3,2 % (A10) e um mínimo de 1,9 % (A3). A amplitude destes picos parece ser influenciada pela razão caulinite/ilite-mica, verificando-se temperaturas de início das reações endotérmicas mais elevadas assim como picos endotérmicos a temperaturas mais altas, para as amostras mais caulíníticas.

Em todas as curvas das amostras estudadas, com exceção da A8, são visíveis os picos típicos da inversão polimórfica do quartzo $\alpha \rightarrow \beta$, cujo pico característico se verifica aos 573 °C. Este facto é traduzido pelos teores significativos em quartzo da totalidade das amostras.

Globalmente, tendo em conta todas as curvas de ATD-ATG, as variações totais de massa ocorridas até aos 1100 °C, situam-se entre 5,3 % (A13) e 10,6 % (A8), tendo como principais influências o teor de água global da amostra, a composição mineralógica e o teor de minerais argilosos assim como a distribuição granulométrica da amostra.

5.1.4. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA

Os resultados da análise química por fluorescência de raios X das amostras integrais estudadas estão presentes no quadro 10 e figura 46. As amostras estudadas exibem um conteúdo acentuado de sílica (mín = 54,7 %) e conteúdo relativamente baixo de alumina (máx = 22,17 %), correlacionando-se com a composição mineralógica, apresentando valores que são concordantes com os teores de quartzo e minerais argilosos reconhecidos nas amostras.

Quadro 10. Composições químicas por fluorescência de raios X dos elementos maiores (%).

Amostra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Fe total	P. Rubro
A1	61,60	18,70	0,05	0,07	0,72	<0,20	3,39	1,06	0,05	7,58	6,49
A4	57,44	19,49	0,05	0,20	1,09	<0,20	2,98	1,42	0,04	8,25	8,75
A6	60,06	19,12	0,04	0,11	0,96	<0,20	3,47	1,26	0,04	7,36	7,25
A7	62,40	17,84	0,06	0,08	0,81	<0,20	3,56	1,20	0,04	6,89	6,78
A8	63,76	17,89	0,02	0,12	0,66	0,20	3,39	1,08	0,04	6,01	6,67
A10	54,70	22,17	0,03	0,11	0,76	<0,20	3,01	1,34	0,04	8,72	8,91
A14	59,51	18,38	0,06	0,23	1,74	<0,20	3,67	1,04	0,07	6,87	8,10

A sílica apresenta um valor médio de 59,92 % \pm 3,09, refletindo o teor em quartzo das amostras, com um desvio-padrão baixo que revela constância relativa dos valores. Paralelamente, a alumina possui um valor médio de 19,08 % \pm 1,49, indicativo também da homogeneidade deste óxido, no que diz respeito à sua participação na composição química das diferentes amostras analisadas. De referir que os valores de Al₂O₃ estão geralmente associados a amostras

tendencialmente mais argilosas, caulínicas e/ou ílticas. A razão SiO₂/Al₂O₃ apresenta-se geralmente elevada, com valores médios de 3,16, conforme composições mineralógicas ricas em quartzo e feldspato, sendo estes valores compatíveis com o tipo de argilas em estudo – argilas comuns.

Os teores em ferro total das amostras apresentam valores que são elevados ($X_{\text{médio}}=7,38\% \pm 0,9$), superiores aos valores desejáveis para argilas de qualidade (Grade & Moura, 1980; Carvalho *et al.*, 1999). Admite-se que parte do ferro se encontre em óxidos amorfos ou criptocristalinos e, também na rede cristalina dos minerais argilosos, uma vez que os minerais de ferro (hematite e goethite) não foram claramente identificados.

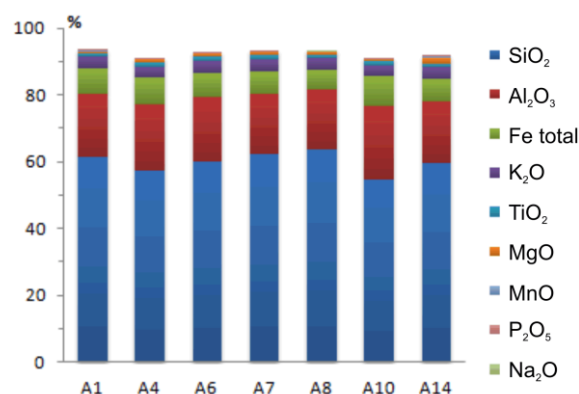


Figura 46. Composição química das amostras estudadas.

Os valores de K_2O nas análises atribuem-se às quantidades significativas de feldspato potássico e também à componente íltica das amostras. Os teores de MgO poderão estar relacionados com a presença de montmorilonite ou interestratificados (A14 e A4).

Os valores de óxido de titânio, geralmente pouco acima dos 1%, podem estar relacionados com a estrutura cristalina da moscovite (ilite), da caulinite, com a presença de cristais de rútilo no quartzo, ou pela presença de anatase, espécie mineral polimórfica do rútilo, que geralmente se concentra em sedimentos, especialmente nos níveis superficiais do solo. Tendo em conta que o titânio é um elemento cromóforo, os teores presentes nas amostras podem influir na cor de cozedura. Os óxidos de cálcio e de magnésio foram detetados em quantidades muito reduzidas, traduzindo a ausência de carbonatos (calcite e dolomite), gesso ou talco. Já os óxidos Na_2O , MnO e P_2O_5 foram detetados com valores pouco expressivos ou abaixo do limite de deteção analítico.

Quanto à Perda ao Rubro, os valores registados (mín=6,49 %; máx=8,91 %) refletem a composição argilosa das amostras e também os hidróxidos de ferro provavelmente existentes (Goethite). Têm tendência para apresentarem valores mais baixos, quanto mais siliciosas e ílticas forem as amostras, e valores mais elevados quando se tratam de amostras mais cauliníticas.

5.1.4.1. pH

As amostras na amostra integral evidenciam homogeneidade em relação aos valores de pH (Quadro 11), variando entre 6,89 % e 7,76 %, com um valor médio de 7,40 % $\pm 0,24$. Valores de pH desta ordem são ligeiramente superiores ao normal em argilas comuns (em geral, 4 a 6). Tal facto poderá ser explicado pela presença de sais solúveis (Murray, 1986) o que poderá provocar eflorescências nas peças depois da cozedura.

Quadro 11. Valores de pH obtidos após medições ao fim de 1 minuto e após um intervalo de 15 minutos.

Amostra	pH	
	Ao fim de 1'	Ao fim de 15'
A1	7,40	7,49
A2	7,19	7,32
A3	7,54	7,55
A4	7,53	7,41
A5	7,49	7,46
A6	7,32	7,35
A7	7,65	7,67
A8	7,34	7,13
A9	7,52	7,47
A10	7,08	7,06
A11	6,82	6,89
A12	7,53	7,49
A13	7,68	7,60
A14	7,80	7,76

5.2. PROPRIEDADES E COMPORTAMENTO CERÂMICO

5.2.1. PROPRIEDADES RELACIONADAS COM DISTRIBUIÇÃO DIMENSIONAL DO GRÃO, LIMITES DE CONSISTÊNCIA E PLASTICIDADE

A distribuição dimensional do grão, como referido atrás, possui influência nos processos de extrusão e conformação, secagem dos corpos cerâmicos, assim como nas propriedades mecânicas das peças após secagem e após cozedura.

A distribuição granulométrica ótima de uma matéria-prima para ser usada para cerâmica de construção, depende primordialmente do produto cerâmico em vista. No entanto, se atendermos à classificação de Shepard (1954) (Fig. 43), em princípio, a classe mais frequente das amostras estudadas (classe silte argilosa) permite boas possibilidades de diversificação do fabrico de produtos cerâmicos, por lotação com outras matérias-primas (Lisboa, 2009).

De modo a testar as matérias-primas amostradas, relativamente à aplicabilidade para cerâmica de construção, projetaram-se as frações granulométricas (Quadro 12) no diagrama de Winkler (Fig. 47).

Quadro 12. Frações granulométricas utilizadas para a projeção no Diagrama de Winkler.

Amostra	% Fração <2μm	% Fração >20μm
A1	17,76	18,36
A2	13,09	40,04
A3	13,64	41,19
A4	21,29	15,94
A5	15,45	41,4
A6	16,82	23,56
A7	13,88	46,02
A8	14,46	29,25
A9	22,14	31,76
A10	23,51	21,86
A11	20,98	17,98
A12	18,80	26,24
A13	19,48	32,62
A14	9,44	36,33

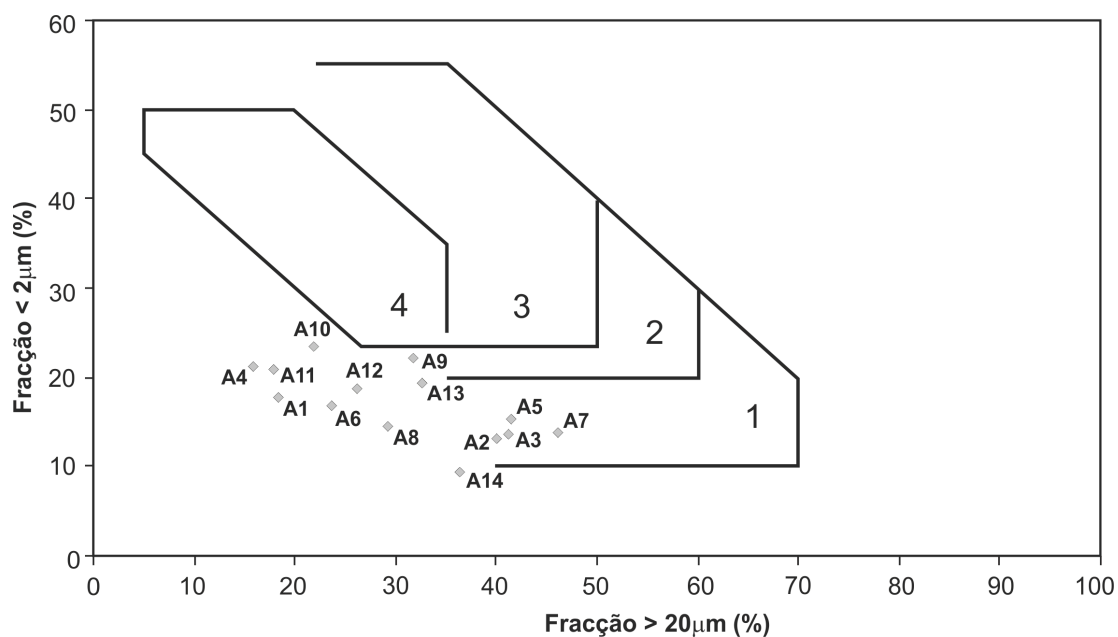


Figura 47. Diagrama de Winkler (1954) exibindo os campos de aptidão para cerâmica estrutural.
1- tijolo maciço; 2- tijolo furado; 3- telha; 4- tijoleira.

Através da análise deste diagrama, verifica-se que algumas das amostras se enquadram no campo referente ao tijolo maciço (amostras com maior fração arenosa). No entanto, a grande parte das amostras não se encontra em nenhum dos campos definidos, deduzindo-se assim um déficit geral das amostras, simultaneamente em fração argilosa e arenosa. Consequentemente pelos défices nessas frações, a aplicação destas matérias-primas em cerâmica de construção implicará, lotação com argilas mais “gordas” e areias.

Relativamente aos limites de consistência de Atterberg e os índices de plasticidade, que constam no quadro 13, podem ser utilizados como guias indicativos para o conhecimento da aptidão à trabalhabilidade e extrudabilidade das matérias-primas.

Quadro 13. Limites de consistência de Atterberg e os correspondentes índices de plasticidade para todas as amostras estudadas.

Amostra	Limite Fluidez (%)	Limite Plasticidade (%)	Índice Plasticidade (%)
A1	46,97	27,92	19,05
A2	39,81	25,63	14,19
A3	36,03	22,23	13,80
A4	55,04	29,63	25,42
A5	39,16	24,87	14,29
A6	49,80	30,09	19,71
A7	36,41	23,89	12,52
A8	67,72	41,16	26,56
A9	42,15	25,79	16,36
A10	53,41	29,35	24,06
A11	54,75	33,96	20,79
A12	48,08	30,32	17,76
A13	38,55	23,60	14,94
A14	46,91	30,19	16,72

Através da análise dos índices de plasticidade, e de acordo com a classificação proposta no quadro 14, pode afirmar-se que as amostras apresentam geralmente plasticidades médias ($10 < IP < 20$), havendo algumas que apresentam alta plasticidade ($20 < IP < 35$).

Quadro 14. Classificação dos materiais geológicos baseada no índice de plasticidade.
Adaptado de Faria 2005 in Martins 2007.

Índice de Plasticidade	Classificação	Descrição
0 % - 1 %	Não plástico	Silte
1 % - 5 %	Ligeiramente plástico	Silte com traços de argila
5 % - 10 %	De baixa plasticidade	Silte com pouca argila
10 % - 20 %	De plasticidade média	Argila e silte
20 % - 35 %	De alta plasticidade	Argila siltosa
> 35 %	Muito plástico	Argila

Com base no LP e no IP, Bain & Highley (1978) propõem o diagrama de trabalhabilidade que consta na figura 48. Este diagrama possui dois campos de trabalhabilidade para as matérias-primas, um cuja trabalhabilidade é ótima e outro onde é aceitável. Ainda no mesmo diagrama e através da análise do LP, é também possível estimar qualitativamente a provável retração verde-seco dos materiais.

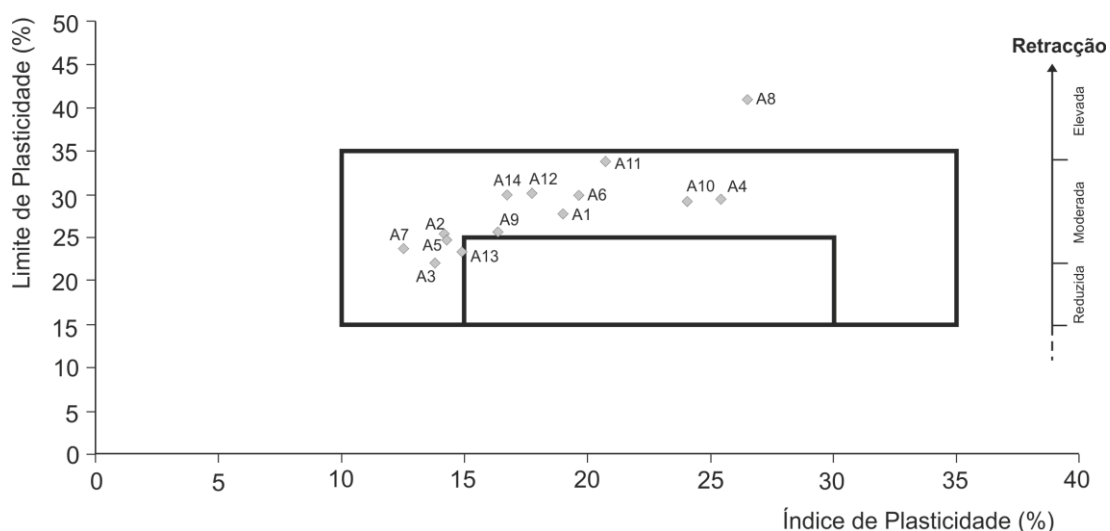


Figura 48. Diagrama de trabalhabilidade. Adaptado de Bain & Highley (1978).
(retângulo menor: trabalhabilidade ótima; retângulo maior: trabalhabilidade aceitável)

Projetando as amostras no diagrama proposto por Bain & Highley (1978), é possível inferir que a grande maioria das amostras tenderá a apresentar uma trabalhabilidade aceitável, tendo apenas uma amostra (A8) apresentado um limite de plasticidade acima desse campo. O valor de LP desta amostra deverá corresponder a uma retração maior, o que de facto se verifica no Diagrama de Casagrande e nos respetivos campos de Gipinni (Fig. 49).

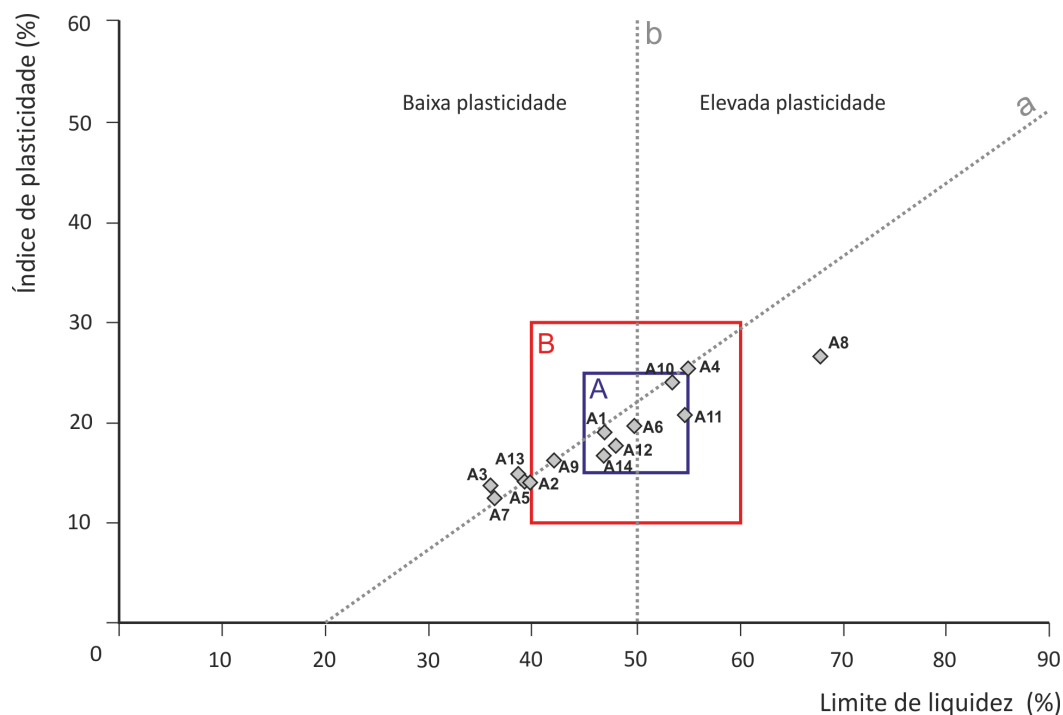


Figura 49. Diagrama de Casagrande com os campos definidos por Gippini (1969).

Campo A – Características ótimas para a extrusão; Campo B - Características adequadas à extrusão.

Linha a – fronteira entre as argilas inorgânicas (acima) dos siltes inorgânicos (abaixo).

Linha b – fronteira entre os materiais consoante a sua plasticidade (baixa e elevada).

O diagrama da figura anterior (Fig. 49) é de extrema utilidade para a indústria da cerâmica de construção, pois proporciona informação acerca da aptidão das matérias-primas para serem conformadas por via plástica. Assim, de modo a investigar a aptidão à extrudabilidade dos materiais, projetaram-se as amostras no diagrama referido. Torna-se evidente que mais de metade das amostras cai nos campos da extrusão adequada e ótima. Já os dados da plasticidade dos materiais mostram tendência a se situarem abaixo da *linha a*, e à esquerda da *linha b*. Assim, e de acordo com o diagrama da figura 49, é de esperar uma menor capacidade de extrusão nas amostras que caem fora dos campos definidos por Gippini, sendo mais uma vez afirmada a necessidade de lotação das matérias-primas amostradas, de maneira a que possam ser corretamente aplicadas na cerâmica de construção.

5.2.2. RESISTÊNCIA MECÂNICA À FLEXÃO E RETRAÇÃO LINEAR APÓS SECAGEM

A resistência mecânica à flexão (RMF) é geralmente condicionada pela composição mineralógica das amostras, a sua granulometria e o consequente “empacotamento” dos grãos minerais (Lisboa, 2009). Estes fatores são também determinantes para a plasticidade dos materiais, condicionando assim a retração linear.

No quadro 15 estão representados os valores de RMF em cru, parâmetro esse extremamente importante pelo facto de estar associado a uma fase do processo cerâmico, onde as peças são manipuladas, pelo que deverão apresentar uma resistência adequada evitando-se assim distorções e o surgimento de defeitos. No mesmo quadro constam também os valores encontrados para a retração verde/seco.

Quadro 15: Valores da resistência mecânica à flexão em cru e valores da retração verde-seco de todas as amostras.

Amostra	RMF _{CRU} (kg/cm ²)	Retração v/s (%)
A1	35	6
A2	19	6
A3	19	9
A4	22	7
A5	20	9
A6	45	7
A7	29	5
A8	48	11
A9	24	10
A10	36	8
A11	33	8
A12	36	9
A13	26	7
A14	37	8

Os valores da RMF_{CRU} dos materiais ensaiados são razoáveis, com valores médios de 31 ± 9 kg/cm². No entanto, estes valores de RMF_{CRU} têm de ser considerados subestimados, pois a extrusão dos provetes foi executada num aparelho sem dispositivo de vácuo. A dispersão verificada na RMF_{CRU} e traduzida pelo seu desvio padrão elevado é comum neste tipo de ensaio. Poderá estar relacionada com heterogeneidades na pasta provocadas por processos deficientes na sua amassadura e com heterogeneidades nos processos de extrusão e conformação dos provetes. Os valores mais baixos da RMF_{CRU} correspondem às amostras mais arenosas. Não obstante a moagem das amostras a calibres inferiores a 60 *mesh* (< 250 µm) atenuar de certa maneira o efeito da dimensão do grão, é visível que as amostras menos arenosas são as que apresentam valores de RMF_{CRU} mais elevadas (A1, A6, A8, A10, A11, A12 e A14). Este parâmetro é importante porque avalia a capacidade das peças cerâmicas resistirem, após a secagem, às diversas operações de manuseamento dos produtos durante as fases de fabrico. Segundo os critérios fixados por Santos (1985), a resistência mecânica à flexão em seco (valor médio= 31kg/cm²) satisfaz os valores mínimos exigidos para o fabrico de tijolo (RMF_{CRU} > 15kg/cm²) e em parte das amostras os exigidos para o fabrico de telha (RMF_{CRU} > 30 kg/cm² e RMF_{COZIDO} ≥ 65 kg/cm²).

Relativamente aos valores de retração verde-seco, na globalidade das amostras, estes valores apresentam-se moderados a altos ($x_m=8 \pm 2\%$). Estes valores devem-se encarar como sobrestimados, novamente quando comparados com uma extrusão a vácuo, devido a uma menor

compactação, com menos vazios. Os valores mais altos das retrações verde-seco devem-se provavelmente à maior quantidade de minerais argilosos, especificamente caulinite, illite ou a presença de minerais esmectíticos.

Foram calculadas as correlações entre a RMF e outras propriedades, para as 14 amostras, verificando-se que existem diversas correlações positivas com o LP ($r = 0,77$) e com o LL ($r = 0,70$). Relativamente às retrações lineares, apresentam apenas correlações positivas moderadas com o limite de plasticidade.

5.2.3. RESISTÊNCIA MECÂNICA À FLEXÃO, RETRAÇÃO LINEAR E CAPACIDADE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS COZEDURA

As matérias-primas utilizadas na indústria cerâmica de construção têm de obedecer a parâmetros tecnológicos cuja verificação é fundamental para a obtenção de produtos finais de qualidade. É necessário ter presente que a RMF após cozedura é um parâmetro que pode constituir um critério de rejeição devido às normas de qualidade regentes. Neste subcapítulo abordar-se-ão os parâmetros resistência mecânica à flexão, retração linear e capacidade de absorção de água, em função das temperaturas a que foram submetidos os provetes, cujas transformações físico-químicas foram resultado direto da ação do calor.

Os valores da RMF da totalidade das amostras após cozeduras cerâmicas evidenciam heterogeneidade, tornando-se mais notória com o aumento da temperatura (crescente dos 850 para 1050°C). A RMF dos provetes no estado seco, apresenta-se numa gama de valores mais apertada (Fig. 50). Os valores obtidos para a RMF após cozedura a 850 °C, apresentam um valor médio na ordem dos 61 kg/cm², satisfazendo para algumas amostras os valores mínimos exigidos, de acordo com Santos (1985), para o fabrico de tijolo (> 55 kg/cm²) e até de telha (> 65 kg/cm²). Esses valores de referência são ultrapassados para a generalidade das amostras a 950 °C (valor médio = 127 kg/cm²). Apenas a amostra A13 apresenta valores inferiores (Quadro 16).

Foram também calculadas as correlações entre as RMF e os demais parâmetros, verificando-se apenas que a fração areia (> 63 µm) possui correlações negativas moderadas com as RMF (a todas as temperaturas).

Relativamente às retrações lineares apresentadas pelas matérias-primas, é importante o seu conhecimento, pois este parâmetro condiciona as dimensões das peças cerâmicas após a saída do forno. Assim, os valores de retração linear seco-cozido após a cozedura a 850 °C são em geral baixos ($x_m = 1\%$). À medida que as temperaturas sobem (950 °C e 1050 °C), os incrementos médios nas retrações seco-cozido continuam a ser semelhantes, ou seja, na ordem de 1%. O facto de não haver aumento expressivo significativo dos valores das retrações à medida que a temperatura aumenta

poderá estar relacionada com o relativamente baixo conteúdo em fração < 2 µm e/ou presença vestigial ou ausência total de minerais esmectíticos.

Quadro 16. Valores da resistência mecânica à flexão, retração total e absorção de água dos provetes a diferentes temperaturas de cozedura.

Amostra	RMF (kg/cm ²)			Retração total (%)			Absorção de água (%)		
	850 °C	950 °C	1050 °C	850 °C	950 °C	1050 °C	850 °C	950 °C	1050 °C
A1	50	124	215	6	8	8	15,48	14,40	12,07
A2	46	73	131	6	9	9	16,93	15,72	14,44
A3	26	120	131	9	10	10	16,26	15,51	14,54
A4	37	171	294	8	10	11	13,95	12,55	9,16
A5	54	80	181	9	12	13	16,85	15,80	14,55
A6	54	249	259	8	10	11	15,04	13,05	12,40
A7	33	91	151	5	8	8	16,26	15,44	14,01
A8	116	161	180	14	15	16	14,03	12,09	11,08
A9	83	95	191	11	11	11	15,53	14,27	13,10
A10	107	135	270	8	9	10	15,41	14,62	12,37
A11	51	117	183	9	11	11	14,63	12,98	10,10
A12	48	180	272	11	12	12	14,54	13,66	10,88
A13	38	48	172	8	9	10	15,88	15,32	13,62
A14	117	136	264	8	9	9	17,18	15,33	14,02

No que diz respeito à capacidade de absorção de água, as cozeduras cerâmicas dos materiais amostrados proporcionam para as temperaturas ensaiadas, produtos finais com porosidade decrescente, com capacidade de absorção de água média entre 15,6% (850 °C) e 12,6% (1050 °C) (Quadro 16 e Figura 52). A elevada absorção de água observada deve-se, principalmente, às características granulométricas das amostras, que são siltosas, possuindo frequentemente baixa percentagem de fração argila. Porém, tendo em conta a presença significativa de minerais de ferro “amorfos”, que atuam como fundentes durante o processo de cozedura, contribuindo para a vitrificação, seria suposto que baixassem a capacidade de absorção de água por parte dos provetes.

Considerando os valores médios obtidos para a absorção de água, e tendo em conta as exigências da cerâmica de construção, os materiais ensaiados têm aptidão para produzir tijolo e abobadilha necessitando, na generalidade, de ser lotados com outras argilas para o fabrico de telha ou outros produtos cerâmicos mais nobres.

Através das figuras 50, 51 e 52, pode ser realizada uma análise da evolução dos comportamentos das amostras, relativamente aos parâmetros cerâmicos estudados, i.e. a resistência mecânica à flexão, a retração linear e capacidade de absorção, relativamente às temperaturas de cozedura.

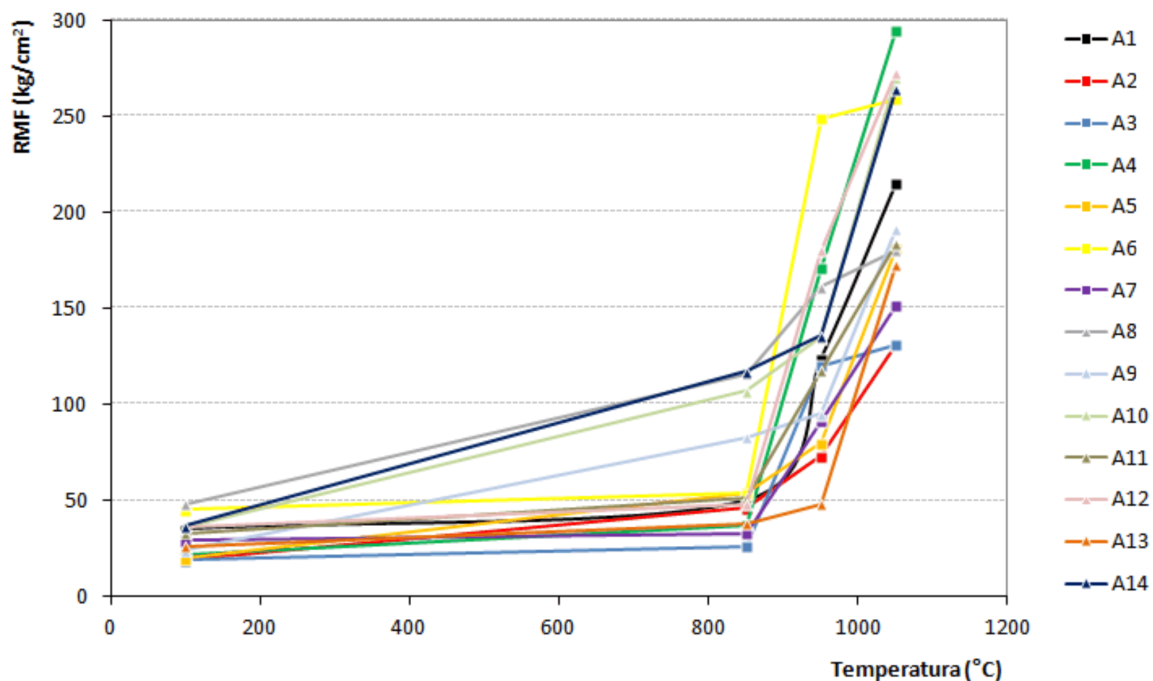


Figura 50. Gráfico exibindo os valores de resistência mecânica à flexão para os provetes a cru e cozidos.

Relativamente à variação da RMF, verifica-se que esta propriedade tem aumentos diferenciados, dependendo das amostras estudadas, desde 100 °C (seco) até 1050 °C. Assim, entre os 100 °C e 850 °C, verificou-se que a maioria das amostras possui variação pouco significativa da RMF, tendendo depois a ter forte aumento para o intervalo de 850 a 950 °C. Apenas as amostras A8, A9, A10 e A14 têm incrementos significativos de RMF para temperaturas no intervalo de 100 a 850 °C. Em duas amostras (A3 e A6), observa-se uma subida acentuada da RMF no intervalo 850 a 950 °C, apresentando em seguida, um comportamento relativamente estacionário até 1050 °C. Tendo em conta o quadro 16, os valores da RMF apresentam-se satisfatórios para temperaturas de 850 °C e revelam-se muito bons para 950 °C. Assim, tendo em conta estes valores da RMF, a otimização das temperaturas de cozeduras dos processos industriais deveriam realizar-se entre os 850 e os 950 °C, provavelmente próximo dos 900 °C, pois a redução de alguns graus centígrados na fase de cozedura cerâmica acarretaria certamente uma redução dos custos energéticos associados.

O aumento pouco significativo da RMF seco-cozido (850 °C), em parte significativa das amostras traduz que a esta temperatura e nesses materiais, a fase vítrea formada é ainda incipiente. A formação de vidro e de mulite (esta geralmente a temperatura superior a 1000 °C), com preenchimento de vazios, é responsável pela diminuição da capacidade de absorção de água e incremento mais ou menos significativo da retração. Por outro lado, nas amostras onde os aumentos mais significativos da RMF ocorrem no intervalo de 850 a 950 °C, sem se verificar uma variação tão significativa entre 950 e 1050 °C, faz pressupor que já existiria a 950 °C, a formação de uma fase vítrea mais ou menos importante.

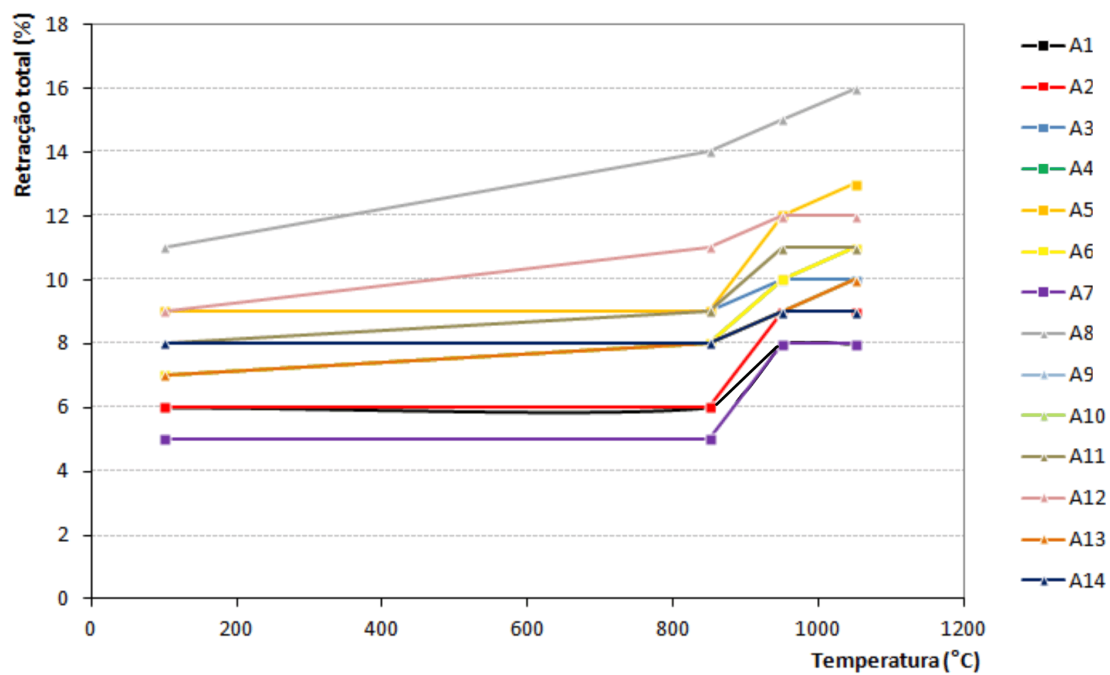


Figura 51. Gráfico exibindo os valores de retração linear total para as diferentes temperaturas de cozadura.

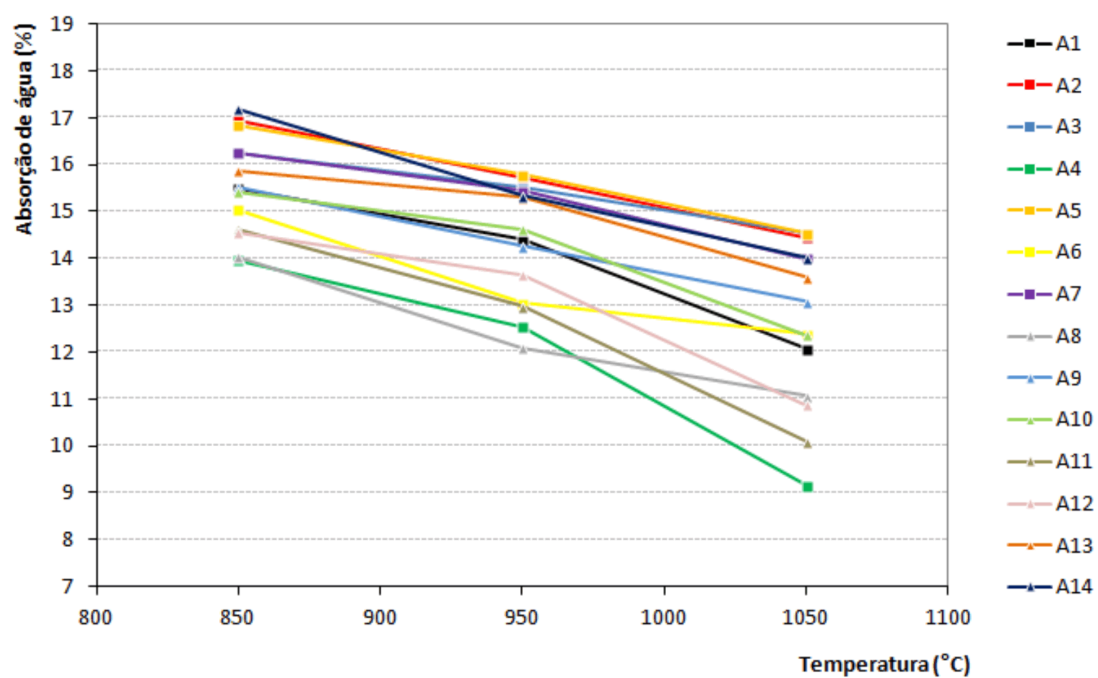


Figura 52. Gráfico da capacidade de absorção de água dos provetes consoante as temperaturas de cozadura.

CAPÍTULO VII

6.1. CONCLUSÕES

Relativamente à cartografia temática, as principais conclusões que se podem retirar do estudo passam pela extrema dificuldade em se praticar as técnicas usuais de cartografia de superfície para os afloramentos argilosos, pelo que os afloramentos marcados no mapa são certamente em número menor aos que realmente existem. Outro facto que concorreu para esta dificuldade foi a impossibilidade do estabelecimento de níveis guia que facilitassem a cartografia das unidades litológicas. No entanto, a definição de colunas litológicas - tipo para as áreas estudadas assim como a elaboração de perfis litológicos em locais estrategicamente escolhidos que garantissem uma boa definição das formações geológicas da região, permitiram com maior clareza a percepção das sucessões sedimentares.

A distribuição dos afloramentos argilosos cartografados evidencia uma faixa alinhada segundo NE-SW, localizada na parte superior da Formação da Lourinhã e também na Formação de Serreira, pelo que se infere que os principais depósitos de argilas ocorrerão preferencialmente no topo da sequência do Titoniano, junto da transição Jurássico-Cretácico. Adicionalmente, as medições de paleocorrentes, apesar do número reduzido de leituras, parecem comprovar que os cursos de água tinham sentidos gerais para quadrantes ocidentais.

A ocorrência de afloramentos argilosos distanciados e a cotas compatíveis, de acordo com a atitude geral das camadas, parecem traduzir a continuidade lateral dos corpos argilosos, o que constitui forte indício de recursos avultados em argila, não obstante o carácter lenticular das jazidas. Assim, confirma-se que esta região é uma das principais zonas de recursos argilosos existente no nosso país, tendo certamente recursos (240 Mt) que poderão garantir o pleno funcionamento da indústria cerâmica regional por diversas décadas.

Relativamente às características sedimentológicas, verifica-se uma homogeneidade muito significativa nas composições mineralógicas e nas propriedades da generalidade das argilas colhidas na parte sul da área, diferenciando-se a argila colhida mais a norte (A14). Este facto parece sugerir uma acentuada continuidade lateral e vertical de fácies para os corpos argilosos mais a sul e, consequentemente, a mesma proveniência e ambiente de sedimentação, assim como processo de compactação/diagénese nas mesmas condições. A norte, embora a proveniência dos acarreios detríticos seja provavelmente a mesma, a formação e desenvolvimento das argilas terão obedecido a diferentes condições sedimentares e/ou diagenéticas, como evidencia a presença de esmectite e clorite.

Também ao nível da distribuição granulométrica das amostras se constatou a existência de dois conjuntos de amostras, diferindo apenas ligeiramente no grau de calibração. Verifica-se que as amostras correspondentes a níveis na mesma coluna sedimentar, alternam quanto ao grau de calibração, o que sugere que as condições de energia foram diferentes, embora no conjunto todas as argilas amostradas tenham obedecido a um processo de formação e desenvolvimento muito semelhante, o que traduz a importante continuidade lateral dos corpos argilosos na área e consequentemente a expectativa de vastas reservas com características homogéneas.

Mineralogicamente, as argilas amostradas neste trabalho podem considerar-se argilas caulinito-ilíticas ou íltico-cauliníticas, apesar da percentagem em minerais não argilosos ser expressiva, particularmente a do quartzo.

Relativamente à aptidão das matérias-primas para cerâmica de construção, as características composicionais e tecnológicas avaliadas permitiram concluir que as argilas representadas pelas amostras selecionadas têm aplicação naquele sector, sendo adequadas para o fabrico de tijolo, abobadilha, alvenaria em geral e telha, necessitando para isso de lotação de modo a suprir deficiências nas frações granulométricas areia e em alguns casos argila.

Foi possível então, com os estudos levados a cabo, a definição de zonas das jazidas com maior interesse industrial. Paralelamente, com a amostragem e consequente caracterização químico-mineral e tecnológica obteve-se um instrumento contributivo para a melhoria da lotação das matérias-primas ao nível da exploração, tendo em conta a manutenção da sua qualidade.

Por fim, acredita-se que com este trabalho possa ter-se contribuído para o melhoramento do conhecimento do nosso território a nível de recursos minerais, mais concretamente na sub-bacia do Bombarral pertencente à Bacia Lusitaniana, ampla região onde desde há décadas tem sido desenvolvida intensa investigação científica no âmbito da geologia, porém carecendo de estudos relacionados com os recursos minerais não metálicos, lacuna essa que este trabalho pretendeu colmatar.

6.2. PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS

Os recursos minerais estudados nesta dissertação são do domínio privado, no entanto, dado o seu carácter finito e a sua importância económica, tanto regional como nacional, julga-se necessário que o Estado Português deva continuar a promover estudos semelhantes noutras áreas potenciais no território nacional.

Tendo em conta as dificuldades cartográficas já retratadas, as subseqüentes fases de prospeção de outros níveis argilosos não cartografados neste trabalho, ou a investigação mais pormenorizada de alguns dos níveis que constam neste trabalho, poder-se-iam realizar integrando

outras técnicas de investigação. Nomeadamente nas áreas definidas como potenciais, poder-se-ia recorrer a métodos geofísicos, mais concretamente a sondagens elétricas verticais (SEV) ou perfis eletromagnéticos e também à execução de sondagens mecânicas, com recuperação. Estas ferramentas seriam fundamentais na estimação da volumetria dos recursos. Já a aquisição de levantamentos topográficos mais detalhados, a escalas maiores do que as utilizadas, poderiam beneficiar a precisão cartográfica podendo ajudar a eventuais correlações dos níveis cartografados. No entanto, face ao baixo valor unitário desta matérias-primas é necessário ter em conta o montante a despendar em atividades de prospeção, fazendo sempre uma análise de custo-benefício.

Seria também de todo o interesse a realização de estudos de beneficiação através da formulação de diferentes pastas cerâmicas, com recurso a materiais provenientes dos mesmos barreiros ou ainda das formações pertencentes ao Grupo de Torres Vedras.

De modo a complementar este trabalho, sugere-se ainda a extensão da prospeção à mancha cartográfica do Grupo de Torres Vedras, que apresenta potencialidades em argilas, provavelmente possuidoras de características químico-minerais e tecnológicas diferentes, que poderiam ser utilizadas posteriormente para lotar as matérias-primas na formulação de pastas mais adequadas aos fins desejados.

Outro tipo de trabalho possível de desenvolver, neste caso de âmbito mais sedimentológico, seria o estudo de proveniência dos sedimentos, para deteção e localização da eventual rocha-fonte, com recursos a elementos menores (terras raras).

BIBLIOGRAFIA

- Bain, J. & Highley, D. (1978) – Regional appraisal of clay resources – a challenge to the clay mineralogist. In: M.M. Mortland and V.C. Farmer (Editors), Proceedings VI International Clay Conference, Developments in Sedimentology 27, Elsevier, Amsterdam, pp. 437-446.
- Baptista, J. P. (2011) – Caracterização de formações da Bacia Lusitaniana (zona emersa) para a produção de gás natural (não convencional) – Dissertação. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa, 72 pp.
- Blažek, A. (1972) – Thermal analysis. Van Nostrand Reinhold Company, London.
- Carvalho, C.; Grade, J. & Moura, A. C. (1999) – Classificação tipológica de argilas. Uma contribuição para o conhecimento do jazigo de Monsarros (Anadia). Estudos, Notas e Trabalhos, Instituto Geológico e Mineiro, 41, pp. 49-58.
- Damiani, J. C.; Perez, F.; Melchiades, F. G. & Boschi, A. O. (2001) – Coração negro em revestimentos cerâmicos: Principais causas e possíveis soluções. Cerâmica Industrial, 6 (2), Março-Abril 2001.
- França, J. C.; Zbyszewski, G. & Almeida, F. M. (1961) – Notícia explicativa da Folha 30-A (Lourinhã) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50.000. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Gippini, E. (1969) – Contribution à l'étude des propriétés de moulage des argiles et des mélanges optimaux de matières premières. *L'Industrie Céramique*, 619, Juin 1969, pp. 423-435.
- Gomes, C. S. F. (1983) – Argilas. Matéria-Prima Cerâmica. Aveiro, 236 pp.
- Gomes, C. S. F. (1988) – Argilas. O que são e para que servem. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa, 457 pp.
- Gomes, C. S. F. (2002) – Argilas. Aplicações na Indústria. Aveiro, 338 pp.
- Grade, J. & Moura, A. C. (1980) – Geologia, características e potencialidades do Jazigo Sedimentar de Aguada de Cima. Boletim da Sociedade Geológica de Portugal, vol. 22.
- Grade, J. & Moura, A. C. (1985) – Catálogo das argilas portuguesas utilizadas na indústria cerâmica, Ministério da Indústria e Energia, Direcção Geral de Geologia e Minas, 175 pp.
- Hill, G. (1988) – The sedimentology and lithostratigraphy of the Upper Jurassic, Lourinhã Formation, Lusitanian Basin, Portugal. Thesis. Open University, Milton Keynes, 290 pp.
- Hill, G. (1989) – Distal alluvial fan sediments from the Upper Jurassic of Portugal: controls on their cyclicity and channel formation. *Journal of the Geological Society*, 146, pp. 539-555.
- Kullberg, J. C. (2000) – Evolução tectónica mesozóica da Bacia Lusitaniana. Tese, Universidade Nova de Lisboa, 361 pp.
- Kullberg, J. C.; Rocha, R. B.; Soares, A. F.; Rey, J.; Terrinha, P.; Callapez, P. & Martins, L. (2006) – A Bacia Lusitaniana: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica. In *Geologia de Portugal no*

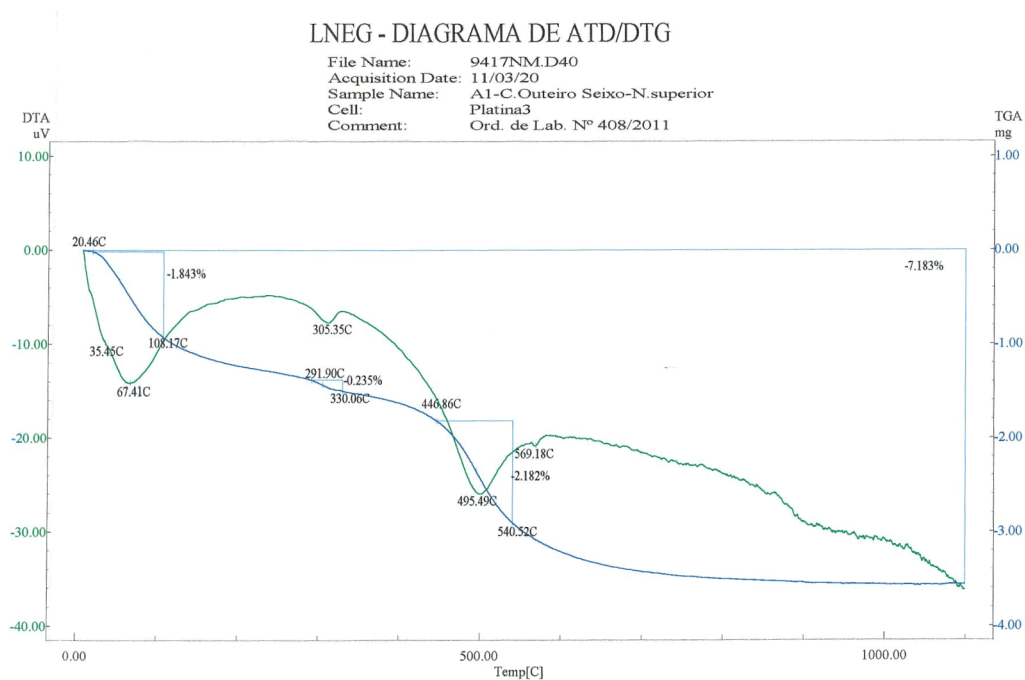
- contexto da Ibéria (R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha & J. C. Kullberg, Eds.). Universidade de Évora, pp. 317-368.
- Leinfelder, R. R. (1993) – A sequence stratigraphic approach to the Upper Jurassic mixed carbonate – siliciclastic succession of the central Lusitanian Basin, Portugal. *Profil* 5: 119-140. Stuttgart.
- Leinfelder, R. R. & Wilson, R. C. L. (1989) – Seismic and sedimentologic features of Oxfordian-Kimmeridgian syn-rift sediments on the eastern margin of the Lusitanian Basin. *Geol. Rundschau* 78 (1), pp. 81-104, Stuttgart.
- Lisboa, J. V. (2009) – Matérias-primas da Plataforma do Mondego para Cerâmica. Tese. Universidade de Aveiro. 246 pp.
- Mackenzie, R. C. (1957) – The differential thermal investigation of clays. Mineralogical Society, London, 456 pp.
- Mannupela, G.; Antunes, M. T.; Pais, J.; Ramalho, M. M. & Rey, J. (1999) – Notícia explicativa da Folha 30-A (Lourinhã) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50.000, Instituto Geológico Mineiro, Lisboa.
- Martins, R. V. (2007) – Investigação científica e tecnológica de matérias-primas minerais de Santiago do Cacém (Alentejo) e das suas potencialidades para a Indústria Cerâmica. Dissertação apresentada à Universidade de Évora para obtenção do grau de Doutor em Geologia, Departamento de Geociências, 2006, 457 pp.
- Meunier, A. (2005) – Clays. Springer, New York, 476 pp.
- Montenat, C.; Guéry, F.; Jamet, M. & Berthou, P. (1988) – Mesozoic evolution of the Lusitanian Basin: comparison with the adjacent margin. In Boillot, G. *et al.*, *Proc. O.D.P., Sci. Res.* 103, pp. 757-775, Washington.
- Murray, H. H. (1986) – Clays. in: *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, A7, 5th Edition, pp.109-136.
- Oliveira, Á. (2010) – Estudo dos depósitos lutíticos da orla ocidental – Matérias-primas minerais. Tese. Universidade de Aveiro 260 pp.
- Oliveira, J. M. S.; Moura, A. C. & Grade, J. (1980) – Argilas especiais da região de Barração-Pombal: aplicação da análise matemática multivariada ao seu estudo e caracterização. *Comun. Serv. Geol. Portugal*, 1989, t. 66, pp. 195-208.
- Pacheco, F.; Silva, A. & Matias, R. (2010) – Caracterização granulométrica e tecnológica de argilas para a cerâmica estrutural. VII Congresso Nacional de Geologia. Vol. 20 – N.º 19.
- Pereira, V. B. (2003) – Prospeção de argilas comuns na região de Torres Vedras – Bombarral. Relatório Interno do Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa, 23 pp.
- Pimentel, N. (2009) – Contextualização paleogeográfica das jazidas de vertebrados do Jurássico superior da bacia lusitânica. *Paleolusitana*, número 1.

- Rey, J. (1972) – Recherches géologiques sur le Crétacé inférieur de l'Estremadura (Portugal). Memórias do Serviços Geológicos de Portugal, N. S. 21, Lisboa, 477 pp.
- Rey, J. (1979) – Le crétacé inférieur de la marge atlantique portugaise: biostratigraphie, organisation séquentielle, évolution paléogéographique. Ciências da Terra (UNL), N.º5, pp. 97-120.
- Rey, J. (1993) – Les unités lithostratigraphiques du groupe de Torres Vedras (Estremadura, Portugal). Comunicações do Instituto Geológico Mineiro, t. 79, pp. 75-85.
- Ribeiro, A.; Antunes, M. T.; Ferreira, M. P.; Rocha, R. B.; Soares, A. F.; Zbyszewski, G.; Moitinho de Almeida, I.; Carvalho, D. & Monteiro, J. H. (1979) – Introduction a la géologie général du Portugal. Serviços Geológicos de Portugal, 114 pp.
- Ribeiro, A.; Kullberg, M. C.; Kullberg, J. C.; Manupella, G. & Phipps, S. (1990) – A review of Alpine Tectonics in Portugal: foreland detachment in basement and cover rocks. Tectonophysics, 184, pp. 357-366.
- Ribeiro, O.; Lautensach, H. & Daveau, S. (1987) – Geografia de Portugal. Vol. I - A posição geográfica e o território. Edições João Sá da Costa, Lisboa, 333 pp.
- Santos, P. S. (1975) – Tecnologia de Argilas. Vol. 1-Fundamentos e Vol. 2-Aplicações. Ed. Edgar Blucher, Universidade de São Paulo, São Paulo, 795 pp.
- Shepard, F. P. (1954) – Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. Journal of Sedimentary Petrology 24, 3, pp. 151-158.
- Silva, J. L. A. (2002) – A empresa e o trabalhador inteligente nas indústrias tradicionais. Dissertação de Doutoramento apresentado ao Instituto Superior de Economia e Gestão – Universidade Técnica de Lisboa.
- Velho, J.; Gomes, C. & Romariz, C. (1998) – Minerais industriais – Geologia, propriedades, tratamentos, especificações, produções e mercados, 591 pp.
- Wilson, R. C. L. (1979) – A reconnaissance study of upper Jurassic sediments of the Lusitanian basin. Ciências da Terra (UNL), N.º 5, pp. 53-84.
- Wilson, R. C. L. (1987) – Atlantic Mesozoic marginal basins: an Iberian view. AAPG Bulletin, Vol. 71, 628 pp.
- Wilson, R. C. L.; Hiscott, R. N.; Willis, M. G. & Gradstein, F. M. (1989) – The Lusitanian Basin of West Central Portugal: Mesozoic and Tertiary Tectonic, Stratigraphic, and Subsidence History. In Tankard, A. J. & Balkwill, H. (Eds.): Extensional tectonics and stratigraphy of the North Atlantic margins. AAPG Memoir Vol. 46, Chapter 22, pp. 341-361.
- Winkler, H. G. F. (1954) – Bedeutung der korngrößen-verteilung und des mineral-bestandes von tonen für die herstellung grobkeramischer erzeugnisse. Berichte der Deutschen Keramischen Gesellschaft, 31 (10), pp. 337-343.

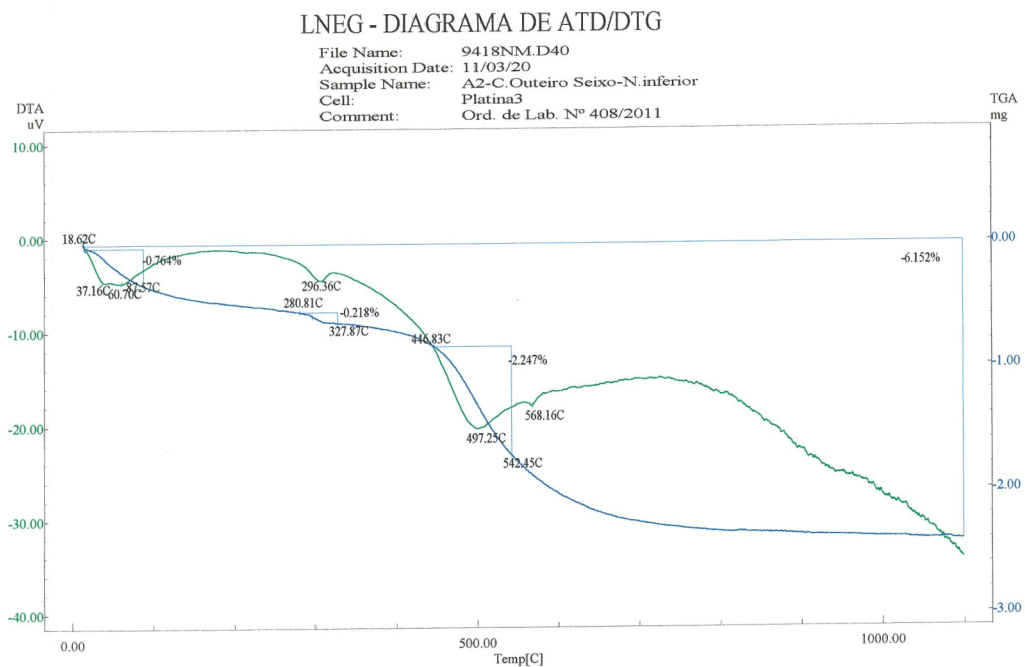
Zbyszewski, G; Ferreira, O. V.; Manupella, G. & Assunção, C. T. (1966) – Notícia explicativa da Folha 30-B (Bombarral) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

ANEXOS

ANEXO 1. DIAGRAMAS DE ATD/DTG



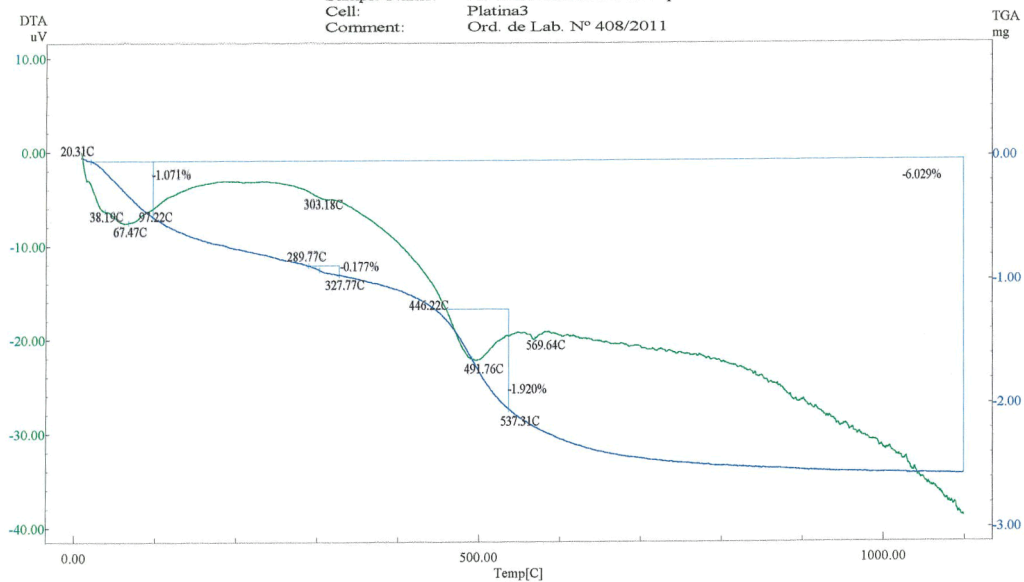
Amostra A1



Amostra A2

LNEG - DIAGRAMA DE ATD/DTG

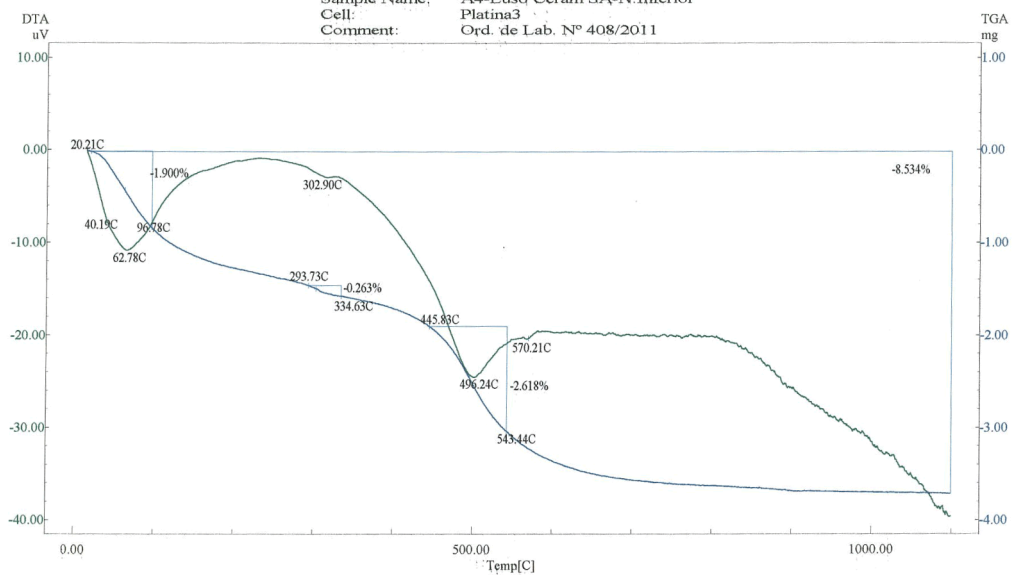
File Name: 9419NM.D40
 Acquisition Date: 11/03/21
 Sample Name: A3-Luso Ceram SA-N.Superior
 Cell: Platina3
 Comment: Ord. de Lab. N° 408/2011



Amostra A3

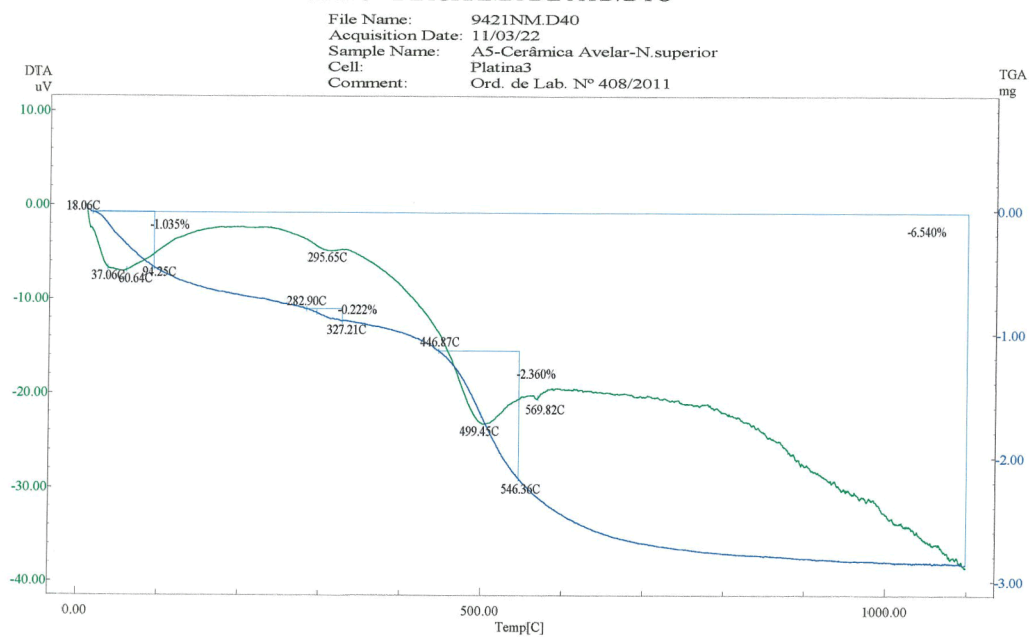
LNEG - DIAGRAMA DE ATD/DTG

File Name: 9420NM.D40
 Acquisition Date: 11/03/21
 Sample Name: A4-Luso Ceram SA-N.Inferior
 Cell: Platina3
 Comment: Ord. de Lab. N° 408/2011



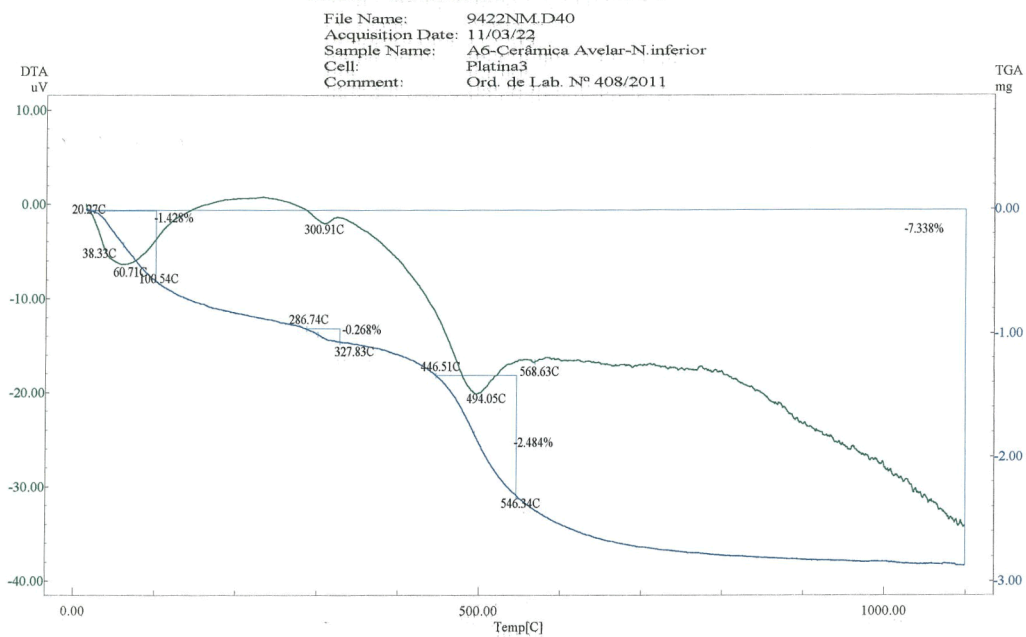
Amostra A4

LNEG - DIAGRAMA DE ATD/DTG



Amostra A5

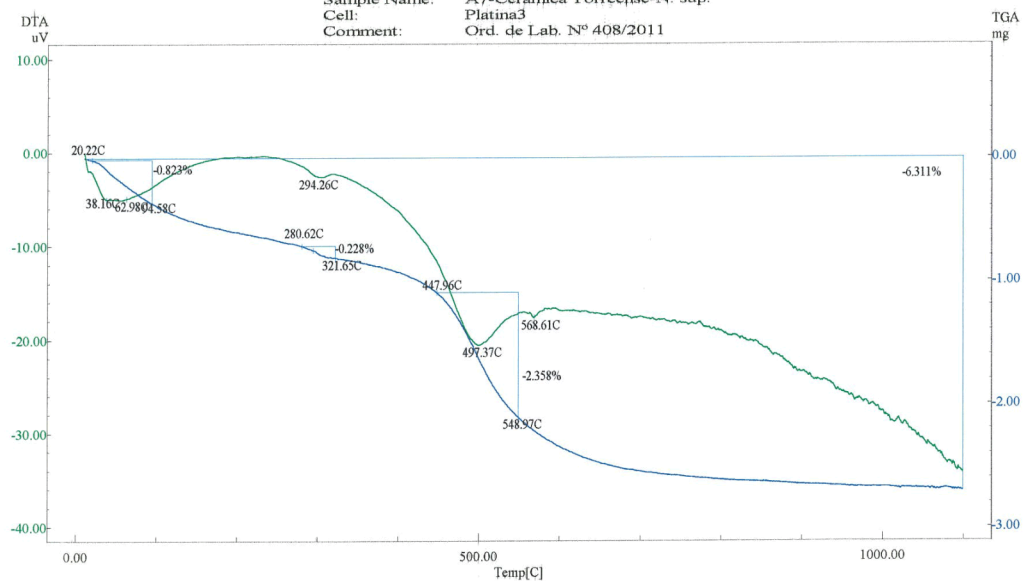
LNEG - DIAGRAMA DE ATD/DTG



Amostra A6

LNEG - DIAGRAMA DE ATD/DTG

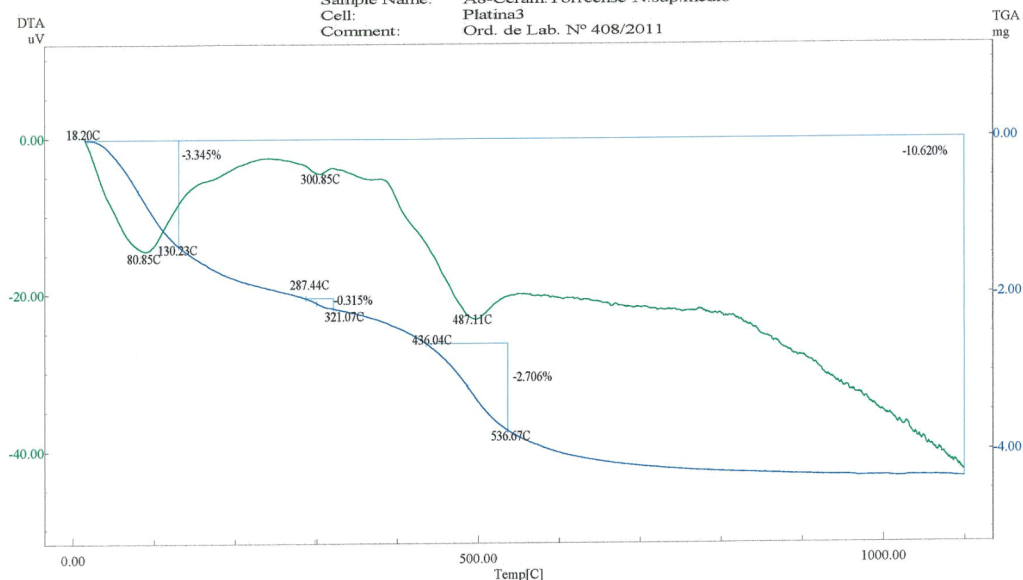
File Name: 9423NM.D40
Acquisition Date: 11/03/23
Sample Name: A7-Cerâmica Torreense-N. sup.
Cell: Platina3
Comment: Ord. de Lab. Nº 408/2011



Amostra A7

LNEG - DIAGRAMA DE ATD/DTG

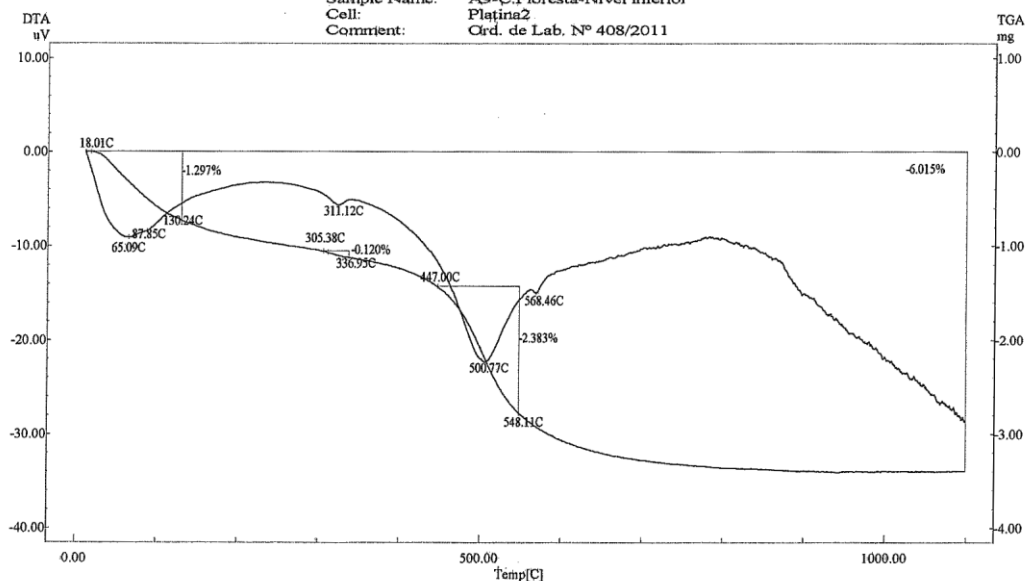
File Name: 9424NM.D40
Acquisition Date: 11/03/23
Sample Name: A8-Cerâm. Torreense-N. sup. médio
Cell: Platina3
Comment: Ord. de Lab. Nº 408/2011



Amostra A8

LNEG - DIAGRAMA DE ATD/DTG

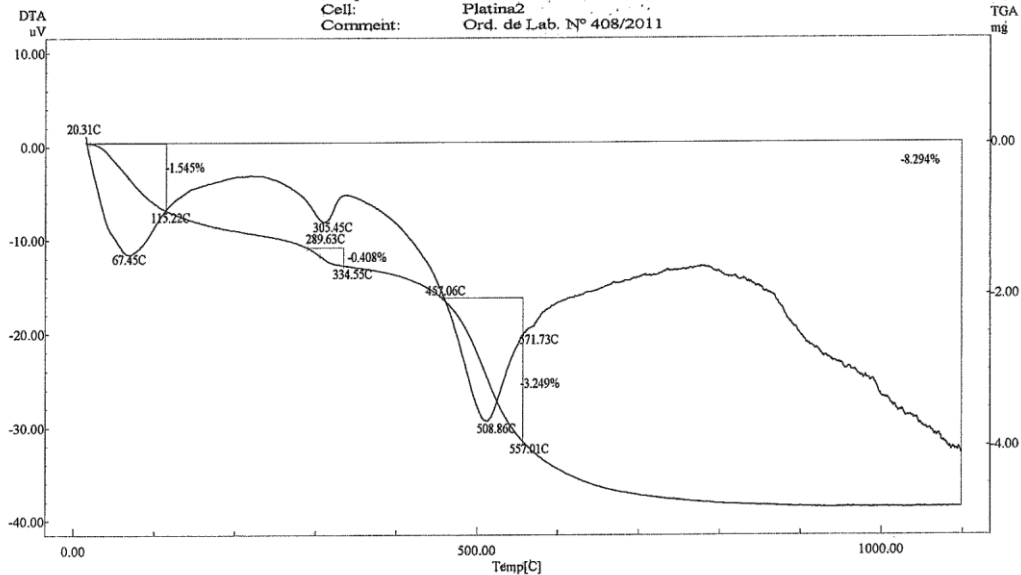
File Name: 9425NM.D40
Acquisition Date: 11/03/26
Sample Name: A9-C.Floresta-Nível inferior
Cell: Platina2
Comment: Ord. de Lab. Nº 408/2011



Amostra A9

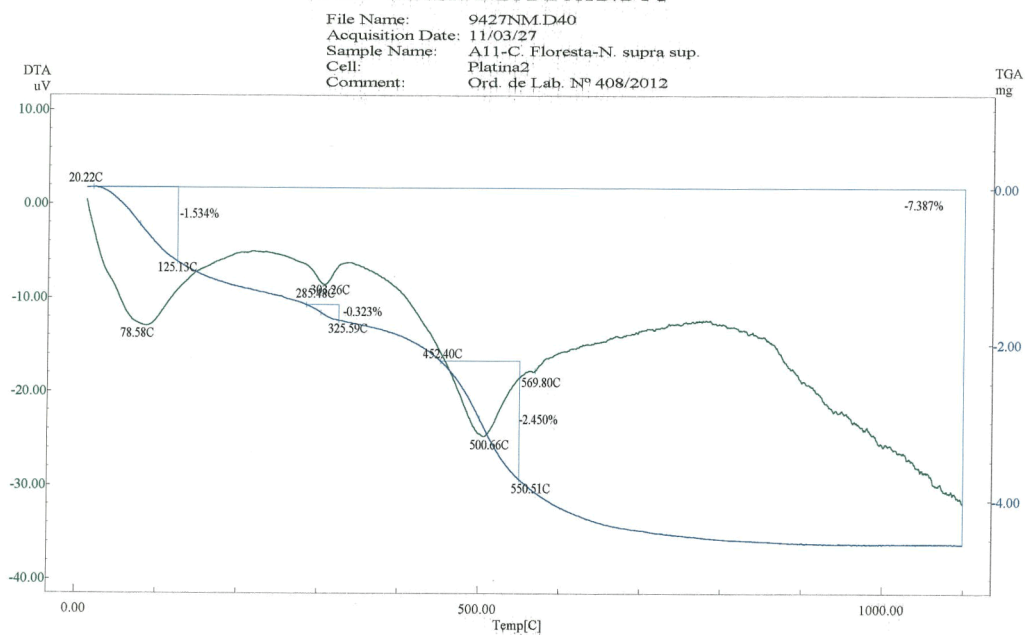
LNEG - DIAGRAMA DE ATD/DTG

File Name: 9426NM.D40
Acquisition Date: 11/03/26
Sample Name: A10- C.Floresta-Nível superior
Cell: Platina2
Comment: Ord. de Lab. Nº 408/2011



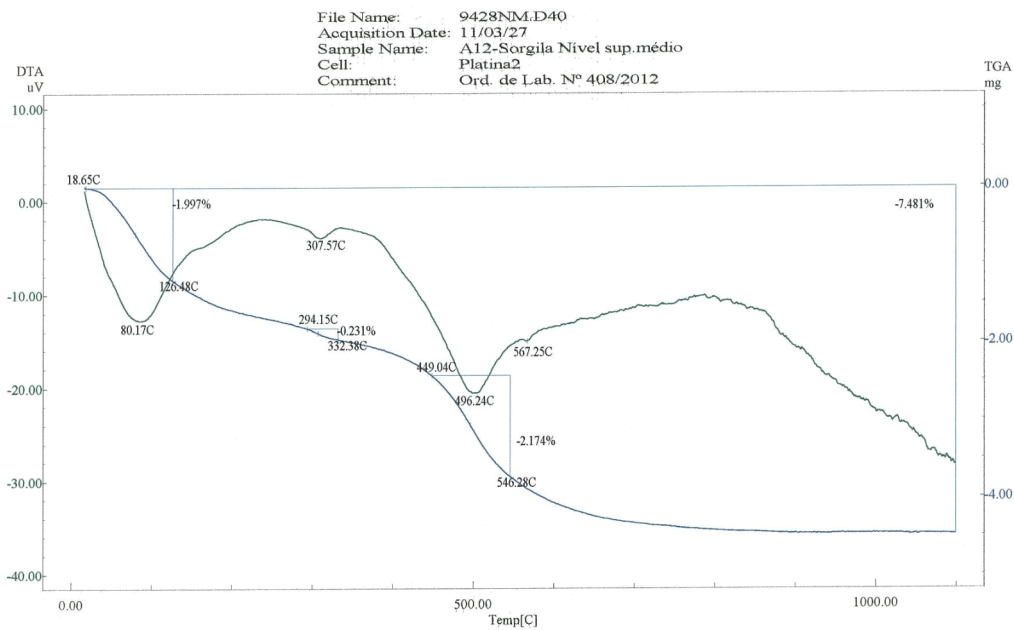
Amostra A10

LNEG - DIAGRAMA DE ATD/DTG



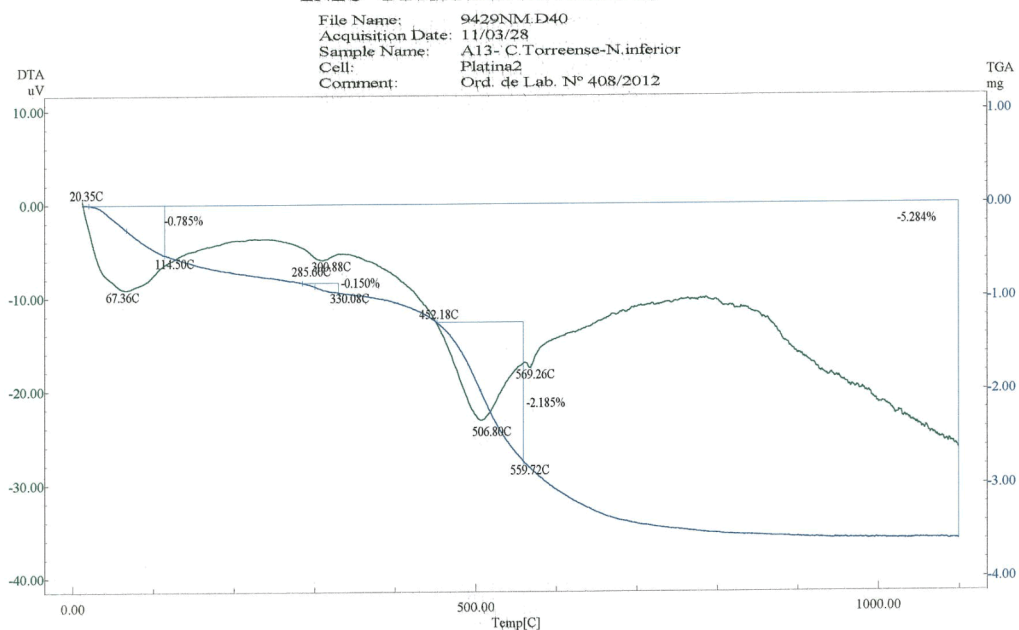
Amostra A11

LNEG - DIAGRAMA DE ATD/DTG



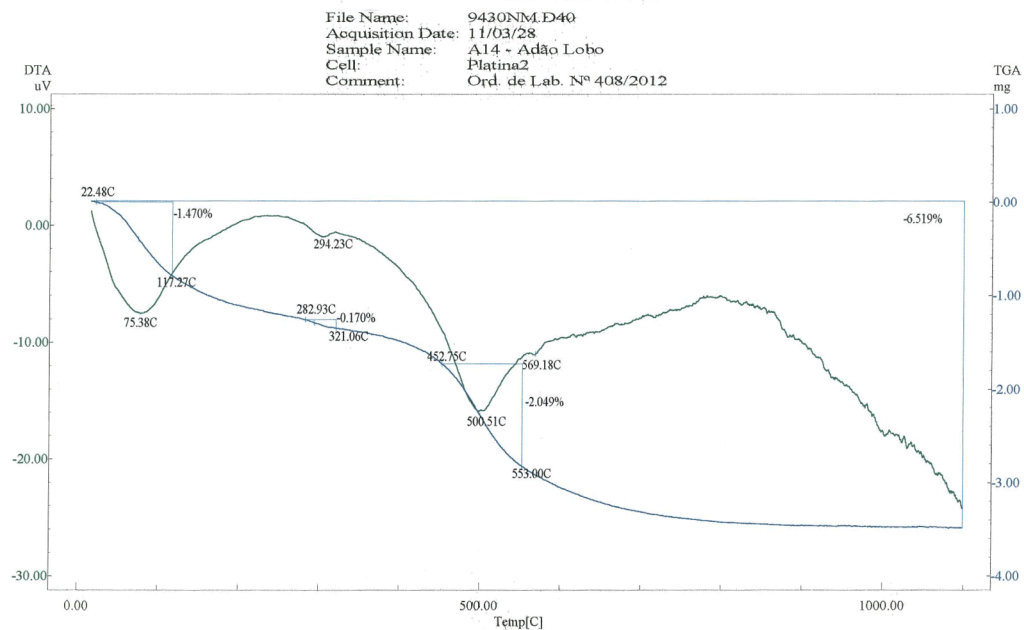
Amostra A12

LNEG - DIAGRAMA DE ATD/DTG



Amostra A13

LNEG - DIAGRAMA DE ATD/DTG



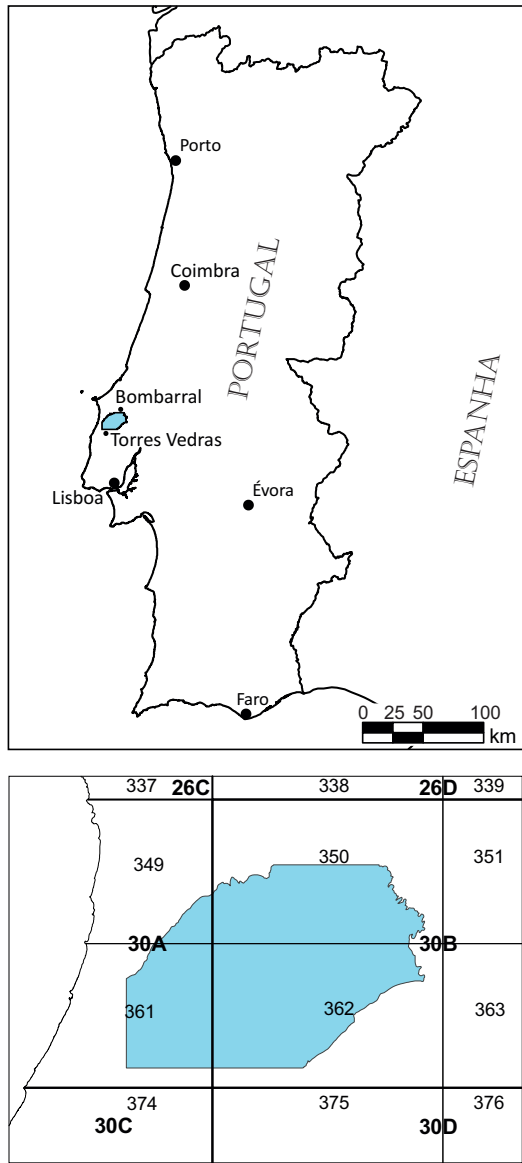
Amostra A14

ANEXO 2. QUADRO DE CORRELAÇÕES

Correlações entre todos os parâmetros caracterizados à exceção das análises químicas, para todas as amostras. Células assinaladas a verde correspondem a correlações positivas com r > 0,60. A encarnado encontram-se assinaladas as correlações negativas com r <- 0,60.

	Mica	Caulinite	Quartzo	Feld. K	Min. de Ferro	Ilite-montmor.	Mica	Caulinite	Quartzo	Min. de Ferro	<2µm	2-63µm	>63µm	Abs. 850 °C	Abs. 950 °C	Abs. 1050 °C	pH ao fim de 1'	pH ao fim de 15'	RMF cru	RMF 850 °C	RMF 950 °C	RMF 1050 °C	Ret. v/s	Ret. a 850 °C	Ret. a 950 °C	Ret. a 1050 °C	LL	LP	IP
Mica	1,00																												
Caulinite	-0,24	1,00																											
Quartzo	0,08	-0,89	1,00																										
Feld. K	0,13	-0,54	0,17	1,00																									
Min. de Ferro	-0,54	0,21	-0,34	-0,08	1,00																								
Ilite-montmor.	-0,33	-0,18	0,34	-0,42	0,42	1,00																							
Mica	0,10	-0,08	0,06	0,22	-0,30	-0,29	1,00																						
Caulinite	-0,19	0,35	-0,35	0,00	0,07	-0,15	-0,62	1,00																					
Quartzo	-0,04	-0,22	0,28	-0,26	0,28	0,64	-0,52	-0,19	1,00																				
Min. de Ferro	-0,38	-0,18	0,14	0,04	0,51	0,40	0,13	-0,60	0,33	1,00																			
<2µm	-0,51	0,69	-0,43	-0,64	0,28	0,42	-0,12	0,31	-0,01	-0,01	1,00																		
2-63µm	0,33	-0,05	-0,11	0,03	0,18	-0,08	0,18	-0,66	0,27	0,49	-0,32	1,00																	
>63µm	0,03	-0,42	0,40	0,41	-0,37	-0,21	-0,09	0,44	-0,25	-0,47	-0,37	-0,76	1,00																
Abs. 850 °C	0,38	-0,13	0,05	0,36	-0,54	-0,69	0,13	0,06	-0,40	-0,39	-0,59	-0,16	0,56	1,00															
Abs. 950 °C	0,17	-0,05	0,06	0,24	-0,52	-0,58	0,04	0,21	-0,35	-0,45	-0,40	-0,36	0,63	0,93	1,00														
Abs. 1050 °C	0,31	-0,20	0,13	0,43	-0,55	-0,69	-0,05	0,31	-0,37	-0,53	-0,57	-0,35	0,73	0,92	0,90	1,00													
pH ao fim de 1'	-0,04	-0,46	0,55	0,03	-0,13	-0,08	-0,18	-0,06	0,00	-0,09	-0,42	0,04	0,25	0,34	0,37	0,39	1,00												
pH ao fim de 15'	-0,08	-0,47	0,55	0,15	-0,18	-0,17	-0,11	-0,11	-0,03	0,00	-0,50	-0,02	0,35	0,54	0,56	0,54	0,94	1,00											
RMF cru	0,13	0,02	-0,10	-0,05	0,23	-0,01	0,09	-0,38	0,29	0,36	-0,03	0,65	-0,61	-0,46	-0,59	-0,39	-0,18	-0,29	1,00										
RMF 850 °C	0,54	0,22	-0,33	-0,06	-0,17	-0,49	0,31	-0,16	-0,32	-0,28	-0,07	0,50	-0,45	-0,04	-0,21	-0,05	-0,07	-0,23	0,57	1,00									
RMF 950 °C	-0,09	-0,09	0,14	-0,20	0,20	0,27	-0,06	-0,37	0,51	0,47	0,06	0,47	-0,51	-0,57	-0,69	-0,54	-0,12	-0,20	0,66	0,18	1,00								
RMF 1050 °C	-0,17	0,35	-0,15	-0,59	0,15	0,17	0,10	-0,43	0,27	0,32	0,35	0,56	-0,79	-0,43	-0,47	-0,57	0,06	-0,04	0,44	0,33	0,67	1,00							
Ret. v/s	0,56	-0,18	0,21	-0,17	-0,37	0,14	-0,10	0,13	0,07	-0,49	0,10	-0,01	-0,06	-0,29	-0,33	-0,15	-0,04	-0,26	0,20	0,51	0,15	0,04	1,00						
Ret. a 850 °C	0,38	-0,23	0,25	-0,13	-0,17	0,29	-0,07	0,05	0,17	-0,32	0,15	0,06	-0,17	-0,51	-0,54	-0,35	-0,06	-0,32	0,35	0,47	0,27	0,10	0,95	1,00					
Ret. a 950 °C	0,42	-0,25	0,18	-0,03	-0,03	0,36	-0,18	0,07	0,35	-0,31	0,04	0,10	-0,12	-0,48	-0,55	-0,35	-0,16	-0,40	0,31	0,34	0,26	-0,01	0,85	0,92	1,00				
Ret. a 1050 °C	0,35	-0,11	0,06	-0,11	0,02	0,32	-0,28	0,17	0,35	-0,34	0,10	0,11	-0,18	-0,51	-0,57	-0,36	-0,16	-0,42	0,33	0,35	0,29	0,07	0,80	0,89	0,97	1,00			
LL	0,13	0,20	-0,30	-0,18	0,36	0,22	0,10	-0,25	0,19	0,27	0,26	0,59	-0,76	-0,76	-0,87	-0,78	-0,44	-0,65	0,70	0,57	0,58	0,48	0,40	0,56	0,56	0,60	1,00		
LP	0,28	0,00	-0,17	-0,03	0,29	0,20	0,18	-0,37	0,23	0,26	0,06	0,63	-0,66	-0,65	-0,81	-0,67	-0,41	-0,60	0,77	0,60	0,53	0,35	0,45	0,61	0,65	0,64	0,95	1,00	
IP	-0,06	0,39	-0,41	-0,32	0,40	0,23	0,00	-0,09	0,13	0,25	0,44	0,48	-0,78	-0,79	-0,84	-0,81	-0,42	-0,64	0,56	0,47	0,57	0,58	0,32	0,44	0,42	0,50	0,95	0,80	1,00

Mapa Litológico e de Recursos Argilosos da Região de Torres Vedras - Bombarral



Base topográfica adaptada da Carta Militar de Portugal (escala 1:25.000) do Instituto Cartográfico do Exército
Folha n.º 349 Lourinhã, Folha n.º 350 Bombarral, Folha n.º 351 A-dos-Curvidos e Folha n.º 352 Ramalhal.
Equidistância das curvas de nível de 10m

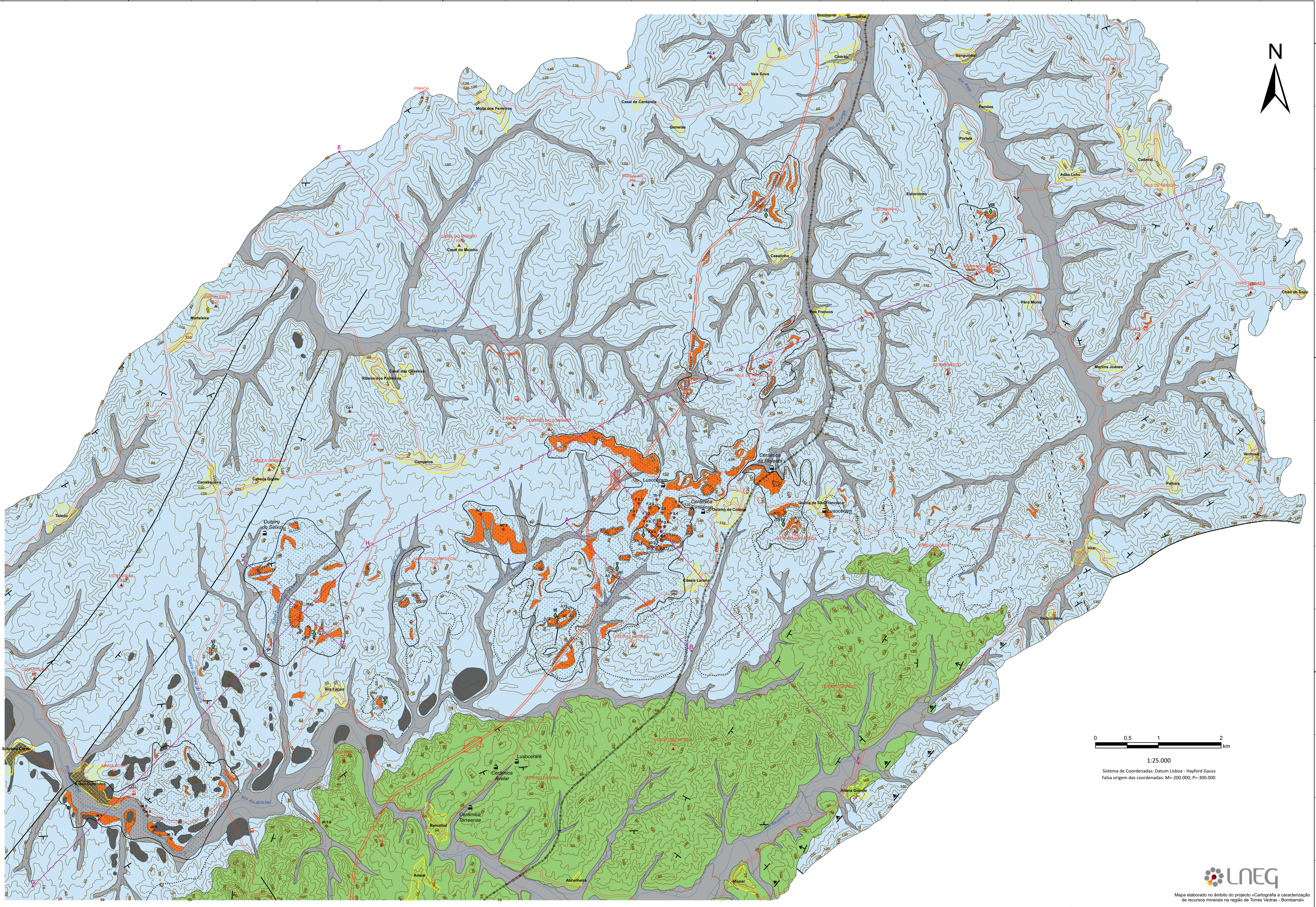
Base geológica modificada de:
- Folhas 30-A (Lourinhã) e 30-B (Bombarral) da Carta Geológica de Portugal (1:50.000)
- Rev. 1, 1993

Legenda

- Depósitos aluvionares
Holocénico
- Areias e cascalheiras
Plio-Pleistocénico e Pleistocénico
- Arenitos e conglomerados de cores claras (Grupo de Torres Vedras)
Bemissiano sup. ? - Aptiano
- Arenitos e conglomerados de cores avermelhadas
(?) Argilas
(Formação de Lourinhã e Formação de Serreira)
Tilioceno ? - Bemissiano inf. ?
- Base da Formação de Serreira

Simbologia

- Estratificação (Pendor < 30°)
- Estratificação (30° < Pendor < 60°)
- Estratificação (60° < Pendor < 90°)
- Limite geológico
- Falha
- Falha provável
- Amostra
- Sondagens
- Área Potencial em Argilas comuns
- Perfil geológico
- Colunas litológicas
- Talude / Barreiro
- Fábrica de Cerâmica (activa)
- Fábrica de Cerâmica (inactiva)
- Zonas urbanas
- Estrada
- Auto - Estrada
- Caminho de Ferro
- Vértice geodésico
- Curva de nível
- Linha de água



0 0.5 1 2 km

1:25.000

Sistema de Coordenadas: Datum Lisboa - Hayford Gauss
Falsa origem das coordenadas: M=200.000; P=300.000



Mapa elaborado no âmbito do projecto «Cartografia e caracterização de recursos minerais na região de Torres Vedras - Bombarral»

